ȘTIINȚA PENTRU TOȚI

123

GHEORGHE NĂSTĂSESCU

Omul sub apă și la altitudine



Știința pentru toți
Cunoștințe tehnico-profesionale

COLECȚIA „ȘTIINȚA PENTRU TOȚI"
apare sub egida
CONSILIULUI NAȚIONAL
AL
FRONTULUI DEMOCRAȚIEI ȘI UNITĂȚII SOCIALISTE

dr. GHEORGHE NĂSTĂSESCU

Omul sub apă și la altitudine



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ
București, 1980

Coperta colecției :
EUGEN KERRY

OMUL SUB APĂ

Marea, oceanul planetar, reprezintă domeniul de viață cel mai vast, dar în același timp biotopul cel mai puțin cunoscut al planetei noastre.

Explorarea bogățiilor vegetale, animale și minerale, obținerea de energie, protejarea și folosirea eficientă a plajelor și coastelor — toate pentru binele omenirii — constituie, în prezent, mai mult decît o dorință presantă și permanentă ; reprezintă un imperativ care îndeamnă la acțiuni îndrăznețe, la noi explorări, prospecțiuni, căutări și experimente, nebănuite cu 50 de ani în urmă.

I. DE CE NEAPĂRAT SUB APĂ ?

Dacă primii oameni care s-au scufundat au făcut-o poate numai din simpla plăcere de a cunoaște ciudata și fascinanta viață de dincolo de oglinda apei, de a hoinări pe fundul apelor, cu toate simțurile la pîndă, pentru epoca modernă cucerirea mediului marin a devenit o necesitate imperioasă, generată de însăși existența și dezvoltarea speței umane. Sînt căutate cu sete noi resurse de hrană și energie, iar mediul marin le oferă din abundență ;

într-un viitor nu prea îndepărtat, omenirea, poate, va mînca și va bea din mare !

În fond, care sînt acele chemări ale omului spre adîncurile mărilor și oceanelor pentru care, la ora actuală, s-a creat o adevărată industrie a imersiei ?

A. Oceanul și posibilitățile sale

Marea și oceanul constituie, cu adevărat, un bogat izvor de resurse alimentare, mai ales în perspectiva proliferării, fără precedent, a speței umane (la finele veacului al XX-lea vor fi peste 5 miliarde de oameni) și a limitării suprafeței cultivabile pe continente.

Cea mai bună imagine despre resursele alimentare ale mării ne-o oferă cantitățile de pește, crabi, moluște și alte viețuitoare pescuite în fiecare an. Dar pescuitul nu constituie decît o activitate secundară, iar hrana de origine oceanică — 47 milioane tone anual — reprezintă doar un procent de 1% în ansamblul alimentației omului.

Dar și aceste cantități sînt infime în comparație cu acelea pe care le-ar putea obține oamenii dacă ar îmbunătăți organizarea pescuitului marin : se pescuiesc, în cantități mai mari, numai cîteva specii de *pești,* deși în ocean trăiesc mulți alții.

În ocean trăiesc însă și nenumărate specii de *moluște, crustacee,* care sînt absolut comestibile fiind și lesne de prins. Însă oamenii pescuiesc și mănîncă numai cîteva dintre ele : *crabi, creveți, homari, stridii, midii.* Este adevărat că în R.P.D. Coreeană, Coreea de Sud, Japonia, R. P. Chineză se mănîncă unele *meduze,* iar în Franța se consumă

actiniile *. În Orient, populația mănîncă *holuturii* **, *arici-de-mare,* anumiți *viermi, sepii, caracatițe.*

Dar valorificarea alimentelor de origine marină și oceanică ridică pentru nenumărați oameni serioase probleme, uneori foarte dificile nu numai domeniului tehnic, dar și celui gastronomic. Astfel, omenirea nu este încă obișnuită să consume asemenea produse, ba chiar are aprehensiuni și prejudecăți, pe alocuri complet nejustificate. Este de datoria psihologilor, sociologilor, medicilor și biologilor de a educa masele în vederea acceptării și adoptării unui regim alimentar, în care făina de pește sau de *plancton* *** să ocupe un loc important. Sub fiecare metru pătrat de suprafață a mării plutesc, în medie, 100 g de plancton, iar în toate mările globului există circa 37 de miliarde de tone de plancton, cantitate suficientă să hrănească timp îndelungat omenirea.

Dar oceanul este, cu adevărat, și o bogăție inepuizabilă în resurse vegetale. Actualmente, unele *alge* marine constituie felul întîi la masa de prînz a locuitorilor din Peninsula Coreea, R. P. Chineză, Filipine, Indonezia, Irlanda și alte țări. În Japonia, algele ajunse „pe mîna" unor bucătari rafinați, se transformă în pîine, cozonac și prăjituri. Pe lîngă marele lor conținut în proteine, ele conțin și apre-

---

* Animale nevertebrate numite și *anemone de mare,* cu o colorație vie (roșu, albastru-cobalt, roz, portocaliu etc.). Se întîlnesc în toate mările și duc un mod de viață solitar sau colonial.

** Holuturii sau *castraveții de mare* sînt nevertebrate solitare, comune tuturor mărilor.

*** Totalitatea plantelor și animalelor mici și microscopice (nevertebrate) care plutesc sau înoată la suprafața apei. Are mare însemnătate trofică, constituind hrana de bază pentru unii pești (scrumbii, sardele, ton) și balene.

ciabile cantități de vitamine : *A*, B_1, B_{12}, *C*, *D*. Din alge se poate obține *agar-agar-ul* (indispensabil cofetarilor, farmaciștilor și microbiologilor), *amidonul*, *concentratele furajere* care înlocuiesc excelent ovăzul, *coloranți* necesari industriei textile etc.

Din cele prezentate mai sus rezultă că resursele alimentare ale oceanului sînt fantastic de mari și că, într-un viitor apropiat, omenirea trebuie să treacă la o exploatare sistematică și științifică a resurselor de hrană acvatică, prin *acvacultură* *.

Marea, furnizor de energie. Se pare că din mare vor extrage oamenii secolului 20 cea mai mare parte a energiei necesare celor mai multe activități. Energia marină rezultată în timpul mareelor constituie o sursă încă nevalorificată, pînă în prezent, decît de foarte puține țări.

În Franța, pe coasta Mării Mînecii, a fost pusă în funcțiune, în anul 1959, cea dintîi centrală electrică ale cărei turbine erau acționate de fluxul și refluxul mării. Asemenea *uzine maree-motrice* au fost construite și în U.R.S.S., Anglia, Canada, S.U.A.

Dar în ocean există energie și sub o altă formă, și încă într-o cantitate foarte mare : ea este ascunsă în legăturile atomice ale *apei grele* (în această apă, un atom de oxigen se combină cu doi atomi de deuteriu, un izotop greu al hidrogenului). Dintr-un kilogram de apă grea se poate obține o

* Preocupare analoagă agriculturii, care caută să creeze un mediu în care anumite specii de animale și vegetale să se dezvolte rapid, urmînd ca ulterior să fie recoltate. În prezent, acvacultura se limitează doar la zonele situate în apropierea țărmurilor (golfuri și estuare) și se ocupă numai de creșterea unor animale ca : midii, stridii, alte scoici și creveți. Această metodă va putea fi extinsă și la alte zone din largul oceanului, precum și la un număr mai mare de specii de animale și vegetale.

cantitate de energie atomică echivalentă cu cea rezultată din arderea în cuptoare a peste 400 t de cărbuni.

Terra este amenințată de sete? Cu numai 25 de ani în urmă, nimeni n-ar fi crezut că lumea animală și vegetală și industria vor suferi „de sete". Pe pămînt există o cantitate foarte mare de apă ; din nefericire, aproape toată această apă este sărată, este apă de mare.

Oamenii de știință, studiind toate posibilitățile, au ajuns la concluzia că există un singur izvor inepuizabil, din care se poate obține apă potabilă. Izvorul acesta este oceanul !

Mai mult ca oricînd sînt cercetate acum toate procedeele de ocrotire, purificare și desalinizare a apei marine. În multe țări puternic dezvoltate industrial (unde problema resurselor de apă a devenit din ce în ce mai acută), funcționează nenumărate uzine și centrale de desalinizare. Apa astfel obținută poate fi utilizată ca apă potabilă, industrială sau la irigații, iar din sărurile separate se obțin diverse îngrășăminte și substanțe chimice valoroase.

Alte bogății ale oceanului planetar. Odată cu progresul înregistrat în domeniul forărilor la mari adîncimi s-a reușit să se extragă, din zonele marginale ale bazinului oceanic, valoroase eșantioane de sedimente și roci, vechi de peste 160 milioane de ani (minereu de fier și de mangan de cea mai bună calitate, nichel, cobalt, cupru și destul de multe alte elemente considerate rare pe uscat). După cît se pare, toate elementele cuprinse în tabelul lui Mendeleev se află în mare.

Descoperirea de țiței, gaze, cărbuni, în asociație cu colinele de sare va avea o influență directă asupra dezvoltării întregii tehnologii de exploatare a

zăcămintelor de pe fundurile adînci ale mărilor și oceanelor.

Cu această ocazie, specialiștii din diversele domenii ale oceanografiei (geologi și biologi) vor putea furniza date extrem de prețioase privind natura și configurația reliefului marin și, împreună, vor stabili traseul cel mai adecvat al cablurilor telefonice și conductelor de petrol și gaze naturale.

Un domeniu nou, care în ultimul timp a trezit un imens interes este *farmacologia marină*, știința cercetării elementelor și substanțelor din organismele marine, care ar putea fi utilizate ca medicamente pentru combaterea bolilor. Paradoxal, multe dintre aceste substanțe sînt utilizate de fauna marină ca otrăvuri. Din otrăvurile secretate de diferite specii de pești, de exemplu, au fost preparate medicamente utile sistemului cardiovascular : ele reduc timpul de coagulare a sîngelui (cînd acesta devine anormal de mare), scad ritmul cardiac și presiunea sanguină.

Unele animale marine ca *pectiniile* (scoicile pieptene) și stridiile conțin în corpul lor substanțe chimice care previn și distrug unele tumori, altele sînt „imune" la atacul cancerului.

Turismul submarin — care în ultimul timp a cunoscut o spectaculoasă dezvoltare — reprezintă una din marile atracții actuale ale omenirii.

Enigmatica „lume a tăcerii" își va dezvălui și mai intens tainele cu prilejul unor asemenea excursii submarine. Cu această ocazie turistul va putea admira și cunoaște adevărata fascinantă lume a coloniilor de *corali, stele de mare,* pești etc.

Dar încercarea cea mai îndrăzneață, sub acest aspect, o constituie cea a organizării de adevărate *parcuri naționale submarine,* unde plăcuțele, fixate de stînci sau cu ajutorul geamandurilor, vor indica

turiștilor denumirea rocilor, organismele fosile sau vii, ca și „drumurile" pe care pot circula.

În altă ordine de idei, mările și oceanele oferă admirabile condiții pentru *menținerea sănătății,* pentru mărirea capacităților fiziologice ale organismului uman și pentru tratamentul unor boli. *Aeroterapia, helioterapia* și *hidroterapia* cunosc o dezvoltare din ce în ce mai rapidă, iar stațiunile unde ele se practică proliferează de la an la an. Absorbția apei de mare epurată, fie pe cale bucală, fie prin injecții, băile calde sau reci cu astfel de apă, efectuate adesea sub presiune sau prin vibrații infrasonice s-au dovedit extrem de folositoare în tratarea diverselor maladii nervoase, cardio-vasculare și respiratorii. Pentru alte milioane de oameni, agrementele pe care le oferă regiunile de coastă ca înotul, scufundarea, pescuitul sportiv, folosirea ambarcațiunilor cu rame și pînze, sînt tot atîtea tonifiante „naturale" ale organismului.

Explorarea oceanelor și mărilor trezește și un imens *interes de natură biologică.* Pătrunderea biologului în mediul marin va deveni o realitate cotidiană a viitorului, fiind determinată de necesitatea observării „pe viu" a comportamentului viețuitoarelor marine, a menținerii echilibrului biologic al mării și, în final, de a sugera soluții de exploatare rațională a resurselor biologice din oceanul planetar.

În încheierea acestei scurte prezentări a „binefacerilor marine și oceanice" se cuvine a arăta și faptul că *unele fenomene catastrofice* (taifune, uragane, inundații, cutremure, erodarea uscatului) își au originea în mediul marin. De exemplu, eroziunea marină a distrus pînă acum nenumărate plaje și faleze, ducînd la prăbușirea și ruinarea multor

locuințe și, evident, la degradarea terenurilor agricole (Belgia, Anglia, S.U.A.).

Din păcate, la asemenea calamități naturale se adaugă și cele legate de efectele dăunătoare ale *poluării*.

Poluarea mediului marin ca și a celui aerian este un subiect care stîrnește mare interes, unele aspecte ale ei fiind prezentate în culori mai sumbre decît în realitate, iar altele fiind de-a dreptul înfricoșător de amenințătoare.

Multă lume crede că marea și oceanul nu pot fi poluate sau contaminate datorită dimensiunilor lor vaste ; această opinie este falsă. Ritmul actual de poluare poate altera, în mod irevocabil, mediul marin și viața din el. În foarte multe mări apa este murdară. În fiecare zi navele deversează mii de tone de păcură, iar o singură tonă se întinde, ca o peliculă subțire, pe 12 km^2 de apă. Din această cauză, în fiecare an mor mii sau zeci de mii de păsări marine (rațele sălbatice, ca și toate celelalte viețuitoare marine care se așază pe sau pătrund în suprafața afectată de pelicula plutitoare cu petrol).

Să nu uităm și faptul că omul produce acum un număr însemnat de substanțe chimice noi, foarte stabile și deci persistente, care, acumulate în atmosferă și apă, exercită presiuni asupra vieții ecosistemelor naturale și artificiale.

Marea și oceanul în viitor. Pînă în prezent trebuie spus că mediul marin rămîne încă pentru om, un mediu straniu, ostil și chiar înfricoșător. Imensitatea lui, lipsa de drumuri marcate, aspectul său mereu schimbător au pus și pun grele probleme de orientare și adaptare. Pentru a cuceri acest mediu, omul va trebui să sufere anumite mutații psihologice, să se elibereze de acest straniu complex de inferioritate pe care îl are în fața uriașelor întinderi

de apă. Numai atunci el va putea să folosească marile resurse de inteligență, incomensurabilele sale posibilități tehnice și va reuși să transfere o bună parte a activităților sale pe și sub apă (agricultura și creșterea animalelor acvatice, industria extractivă și prelucrătoare etc.).

Avantajul extraordinar pe care îl oferă rezervele acvatice și submarine de hrană, de energie, de resurse miniere este acela că sînt inepuizabile ; ele sînt permanent înlocuite și regenerate în comparație cu bogățiile uscatului, care se epuizează în mod ireversibil.

Astăzi omenirea trăiește consumîndu-și capitalul, dar exploatînd mările și oceanele, civilizația umană ar putea trăi numai din dobînzile la acest capital.

II. SCUFUNDAREA SUBMARINĂ ȘI ACCIDENTELE HIPERBARISMULUI

Aducerea în discuție a tuturor etapelor tehnicii scufundării — de la observațiile răzlețe ale navigatorilor antici și medievali și pînă la primele date cu adevărat științifice — ar depăși cu mult cadrul lucrării de față. De aceea, în cele ce urmează vom prezenta numai unele aspecte care privesc organismul uman și mai puțin pe cele tehnice.

Tendința de depășire a limitelor suprafeței solului, care a preocupat pe om din cele mai îndepărtate timpuri, a devenit astăzi o realitate care a putut fi abordată în urma descoperirii, în primul rînd, a unei serii de aparate, instrumente și utilaje, speciale cuceririi adîncurilor și, în al doilea rînd, unei mai profunde cunoașteri a fiziologiei și fiziopatologiei umane.

A. Metodologia de studiu a hidrospațiului

Omul poate pătrunde în mediul subacvatic în două moduri : *indirect* și *direct*.

Indirect, prin intermediul unor aparate de scufundare gen submarin, batiscaf, batisferă, farfurii scufundătoare, nave de cercetare cu vehicule pentru submersie în ape adînci etc. Asemenea submersibile conferă omului condiții de viață similare celor de la suprafața pămîntului, o compoziție chimică a aerului atmosferic și o presiune a gazelor asemănătoare celei din atmosfera naturală.

Cu ajutorul acestor aparate omul are posibilitatea de a preleva probe stînd pe puntea unui vas sau chiar de pe țărm sau poate efectua unele observații la fața locului (să fotografieze sau să filmeze, să măsoare sau să probeze), fără ca organismul să fie expus presiunii mediului acvatic.

Scufundarea omului, cu ajutorul unor asemenea incinte rigide, pînă la circa 11 000—12 000 m adîncime (cazul batiscafului „Trieste" și „Arhimede"), a permis investigarea unor suprafețe mari de fund și efectuarea unor observații asupra animalelor abisale, a permis, într-un cuvînt, explorarea biologică a mării.

Dar alături de multiplele avantaje oferite de aceste aparate, există și unele neajunsuri ale acestora, cum ar fi dependența lor față de navele de suprafață (care trebuie să le transporte la și de la locul de scufundare), mobilitatea și autonomia redusă (a unora) ca și spațiul „locuibil" destul de limitat al cîtorva tipuri de submersibile.

Legat de această problemă trebuie neapărat menționat și faptul că, în ultimul timp, tehnologia

marină a obținut succese remarcabile în domeniul creșterii performanțelor aparatelor de scufundat ca : mărirea mobilității lor, imersia la mare adîncime și de lungă durată, control de la distanță (telecomandă) etc.

Direct, prin scufundarea liberă sau cu echipamente speciale. Prima variantă a acestei metode — *scufundarea liberă (naturală)* — datează de foarte multă vreme, din perioada apariției pescuitorilor de perle, corali și bureți.

De obicei, adîncimea la care lucrează acești „muncitori ai mărilor", fără nici un fel de echipament, nu depășește 20—35 m adîncime, timpul de imersie fiind limitat la 2—3 minute.

În literatura de specialitate sînt citate și unele cazuri mai puțin obișnuite, de scufundări record. Asemenea performanțe, cu oprirea respirației (apnee) între 4 și 10 minute, sînt realizate numai de oameni deosebit de înzestrați.

Se menționează astfel cazul unui scufundător care a reușit o performanță asemănătoare delfinului, aceea de a-și reține respirația timp de 15 minute și 13 secunde, după ce în prealabil își ventilase pulmonii, timp îndelungat, cu oxigen pur.

Pentru hiperventilația cu aer atmosferic (normal) recordul de submersie a fost de 6 minute.

Alte recorduri sînt legate de adîncimea de scufundare. Grecul *Sotti Georghios*, folosindu-se de o greutate de 14 kg, a coborît în anul 1913, pînă la 75 m.

În anul 1973, italianul *Enzo Maiorca*, în vîrstă de 42 de ani, după o ventilație de 8 minute (în aer atmosferic) și ajutîndu-se de o greutate de 23 kg s-a scufundat rapid pînă la 80 m. Urcarea către

suprafață s-a efectuat în 2 minute și 18 secunde, iar la ieșirea din apă a suferit un ușor șoc, care nu a durat decît cîteva minute.

Cu toate îmbunătățirile aduse acestei variante (respirarea de oxigen pur, hiperventilație, costum termoizolator), existența subacvatică naturală este limitată la cîteva minute (cu totul excepțional 15), din cauza rezervei de oxigen foarte reduse a organismului uman și acumulării dioxidului de carbon (CO_2) în sînge.

Viața mai îndelungată (ore sau chiar zeci de ore) a omului sub apă a fost posibilă grație succeselor realizate în domeniul tehnicii scufundării : scafandrul greu și ușor (autonom), nișa sau casa laborator subacvatică și sistemul turelă-cheson.

În cazul *scafandrului greu,* alimentarea cu aer se face de la suprafața uscatului, folosind o pompă care trimite, prin intermediul unui tub elastic, aer în casca scafandrului, din care acesta inspiră. Aerul expirator evacuat tot în cască este rapid eliminat în apă cu ajutorul unei supape speciale. Scafandrul greu cu cască mai are în dotare și „grelele tălpi de plumb", ce completează costumul de scafandru clasic.

Scafandrul ușor (autonom). Omul însuși poate acționa ca un submersibil utilizînd costumul de scufundare autonomă (SCUBA), în dotarea căruia se găsește un aparat de respirație special (2—3 butelii cu aer comprimat la 150 atmosfere, un reductor de presiune clasic, tuburi de legătură cu piesa bucală). Acest echipament, susținut în spate cu ajutorul unor chingi, este completat de o mască etanșă cu geamuri, care acoperă ochii și nasul, și de înotătoare de cauciuc la picioare.

Volumul aerului expirat, după tipul aparatului autonom, poate fi integral eliminat în apă (aparate cu circuit deschis), parțial reținut în aparat (aparate cu circuit semiînchis) sau total reinhalat (aparate cu circuit închis). Pentru ultimele două tipuri se cere o purificare a CO_2-ului prin fixarea sa pe un absorbant (hidroxid de potasiu sau calce sodată).

Mobilitatea și autonomia scafandrului autonom în mediul subacvatic este în directă legătură cu adîncimea investigată și cantitatea de aer comprimat din butelii.

Cele mai recente tipuri de scafandru autonom sînt foarte perfecționate și satisfac integral exigențele unei scufundări moderne. Așa este cazul electroscafandrului Beckman care, în mod automat, verifică și reglează concentrația și presiunea parțială a gazelor din amestecul respirator, recicleazā în permanență gazul neutru (heliu), fixează și elimină CO_2, asigură o respirație fără efort indiferent de poziția scufundătorului, este ușor și permite menținerea flotabilității scufundătorului în zona neutralității, are autonomie mare de lucru și poate explora zone la mari adîncimi.

Alături de pătrunderea în apă cu ajutorul costumelor menționate, capătă tot mai mult credit scufundarea de saturație, în care acvanauții conviețuiesc, timp îndelungat, sub presiune, pe fundul mării, adăpostiți într-o incintă (casă-laborator), de unde pot ieși după voie în mediul înconjurător, bineînțeles, echipați în costum de scafandru.

O deosebită importanță pentru anumite sectoare de producție speciale (exploatarea petrolieră, mineritul subacvatic, îngrijirea și repararea navelor

etc.) o prezintă și folosirea sistemului *turelă-cheson* *.

Referitor la această metodă directă de pătrundere a omului sub apă trebuie spus că ea reprezintă, la ora actuală, mijlocul cel mai eficace de cercetare pe „viu" a faunei și vegetației marine, în strînsă interrelație și interdependență cu factorii de mediu, a comportamentului și mecanismelor de reglare și adaptare a ființelor vii la mediul subacvatic; permite, de asemenea, luarea unor măsuri de explorare și exploatare științifică rațională a resurselor marine în vederea asigurării pe mai departe a echilibrului biologic al mării.

Dar, pe lîngă aceste avantaje, metoda directă de studiu, prezintă (ca dealtfel toate metodele) și unele inconveniente, dintre care expunerea organismului presiunii ambiante și agresiunea animalelor marine (a unora) nu sînt de neglijat.

B. Unele reacții ale organismului uman în timpul scufundării

1. *Presiunea hidrostatică și variațiile sale*

După cum bine se cunoaște, omul și celelalte viețuitoare care populează mediul terestru (la nivelul mării) suportă o presiune atmosferică egală cu o atmosferă — 760 mm coloană de mercur — sau 1,033 kg/cm^2.

* Sistemul turelă-cheson este destinat scufundărilor de pînă la 180—200 m. El este alcătuit din două părți: *chesonul* propriu-zis, care nu se scufundă (este instalat pe o platformă sau o navă la suprafața apei) și *turela*, un clopot marin din metal sau beton armat care transportă scafandrii pînă la „locul de muncă". Ea este legată de cheson prin cabluri de susținere și un tub ce furnizează gazul respirator. Din turelă acvanauții costumați ies în apă și pot lucra liber. În general, sistemul cheson-turelă permite intervenții eficace și cu un înalt grad de securitate, dar cu o durată de timp limitată (cîteva minute pînă la 2—3 ore).

În timpul imersiei, la această presiune menționată se adaugă valoarea presiunii hidrostatice a mediului acvatic, adică greutatea unei coloane (de mercur) aflate deasupra organismului scufundat.

Presiunea hidrostatică, ca principal factor fizic al mediului marin, crește odată cu adîncimea apei: la fiecare 10 m ea va crește cu o atmosferă, astfel încît la 10 m adîncime va prezenta o valoare de 2 atmosfere (1 atmosferă corespunzătoare presiunii atmosferice, plus 1 atmosferă corespunzătoare presiunii hidrostatice); la 20 m = 3 atmosfere (1 atmosferă și 2 hidrostatice); la 30 m = 4 atmosfere (1 atmosferă și 3 hidrostatice) ș.a.m.d. În privința densității, apa este de 800 ori mai densă decît aerul.

În general, asemenea variații ale presiunii hidrostatice influențează unele procese biofizice, biochimice și fiziologice ale organismului scufundătorului în timpul imersiei. De fapt, condițiile la care este supus acvanautul, prin imersie, sînt condiții cu totul noi și, din partea lui, se cer unele eforturi susținute în vederea realizării unei scurte perioade de „adaptare" la condițiile de viață subacvatică. Astfel de eforturi constau în:

— necesitatea echilibrării presiunilor parțiale ale gazelor respiratorii, știut fiind faptul că omul nu dispune de un organ specializat în vederea folosirii oxigenului dizolvat în apă, iar „rezervele" sale privind acest gaz sînt extrem de limitate, nepermițînd întreținerea proceselor vitale decît cîteva minute. De asemenea, creșterea concentrației dioxidului de carbon *(CO_2)* în sînge exercită o acțiune toxică asupra metabolismului celular, mai ales asupra celui nervos;

— necesitatea echilibrării presiunilor din urechea mijlocie și sinusurile maxilar și frontal, în vederea evitării barotraumatismelor auditive ;

— suprasolicitarea mecanismelor de acomodare ale globului ocular, în vederea formării imaginii obiectului pe retină ;

— efortul sporit al întregului sistem osteo-muscular pentru menținerea și redresarea corpului și a unor segmente ale acestuia, în timpul deplasării și muncii sub apă ;

— alertarea sistemului medulosuprarenal și simpatic prin creșterea secreției de adrenalină și noradrenalină.

Acestea au fost numai cîteva aspecte legate de mecanismele complexului proces de adaptare la viața în hiperbarism, multe alte aspecte ale acestui proces nefiind încă elucidate.

2. *Respirația subacvatică*

Pentru o mai bună înțelegere a mecanismelor care asigură schimbul de gaze în „respirația subacvatică“ se impune mai întîi a cunoaște compoziția aerului inspirat din atmosferă și presiunea gazelor din aer la nivelul mării.

Tabelul nr. 1

Presiunea parțială a gazelor din aerul atmosferic

Gazul	Volumul la %	Presiunea parțială
O_2	20,95	159,22
CO_2	0,03	0,23
N_2	78,02	592,8
alte gaze	1,00	7,6

Este important a cunoaște aceste valori deoarece, sub influența presiunii, volumul gazelor și densitatea lor se modifică în mod semnificativ ; cu cît presiunea crește, volumul gazelor scade iar densitatea lor crește. Exemplu, un volum de aer de 1 000 cm^3 va fi de 500 cm^3 la 10 m adîncime, 250 cm^3 la 30 m ș.a.m.d.

Obișnuim, cel mai adesea ca în anotimpul călduros, să ne procurăm cîte un tub de plastic cu o piesă bucală, vizor, labe de înot și să evoluăm liber sub apă, fără a simți povara greutății de pe sol ; gravitația nu ne mai îngreuiază membrele. Dar puțini sînt cei care cunosc că, la numai 2 m adîncime, scufundătorul, astfel echipat, nu poate respira aerul din tub (unul din capetele acestuia se află la suprafața apei, în aerul atmosferic) decît cîteva zeci de secunde.

Ce se întîmplă oare ?

În căile respiratorii și pulmonul scufundătorului există o presiune egală cu cea de la suprafața pămîntului, adică de o atmosferă. Prin scufundare, asupra cutiei toracice — fața externă — va acționa o presiune mai mare : presiunea atmosferică plus presiunea hidrostatică corespunzătoare adîncimii respective. Se creează astfel o diferență de presiune (între interiorul și exteriorul cuștii toracice), care va influența dinamica respiratorie. Are loc o stimulare a actului expirator cu comprimarea puternică a toracelui și inhibiția (încetarea) actului inspirator. Situația poate fi redresată dacă prin capătul tubului de plastic (aflat la suprafața apei) se pompează aer atmosferic, la o presiune care să restabilească echilibrul baric între căile respiratorii și presiunea ambiantă sau, prin revenirea la suprafața pămîntului, cînd brusc, cușca toracică își va relua poziția normală.

S-ar putea întîmpla ca unii indivizi, înzestrați cu o musculatură excepțională, să izbutească să aspire aerul de la suprafață timp de cîteva minute, pînă la o adîncime de 2 m, dar pentru majoritatea dintre noi, efortul este penibil, chiar și la 40—50 cm sub apă. Adîncimea maximă la care se poate inspira aer cu ajutorul tubului de respirat este de 1 m. La acest nivel lucrul mecanic al cutiei toracice este considerabil : „o forță necesară învingerii unei greutăți de peste 200 kg“ !

Imersia la peste 2 m adîncime (cu tub al cărui capăt rămîne deasupra apei sau fără aparat autonom) atrage după sine o și mai pronunțată reducere a volumului toracic, pînă la poziția de expirație forțată. În această situație scufundătorul poate suferi leziuni mai mult sau mai puțin pronunțate la nivelul sistemului torace-pulmon.

Pentru pescuitorii de perle și corali — oameni bine adaptați condițiilor de presiune ridicată — adîncimea medie la care se pot scufunda liber este de circa 18—25 m. La această adîncime cușca toracică se reduce la 1/3 din volumul normal de la nivelul mării (fig. 1).

Pentru acești scufundători, schimbările de presiune propriu-zise pot fi suportate cu atît mai lesne, cu cît scufundătorul a coborît mai adînc. Un om care urcă și coboară, de mai multe ori la rînd, în pătura primilor 10 metri, suferă și se epuizează pentru că își dublează presiunea exterioară ori de cîte ori atinge adîncimea celor zece metri. Între 10 și 20 m, schimbările de presiune sînt de două ori mai mici decît în prima zonă. Între 40 și 50 de metri, presiunea crește doar cu o cincime. În general, cine poate să se scufunde pînă la 10 m, va putea coborî, probabil, și pînă la 50 m, fără acci-

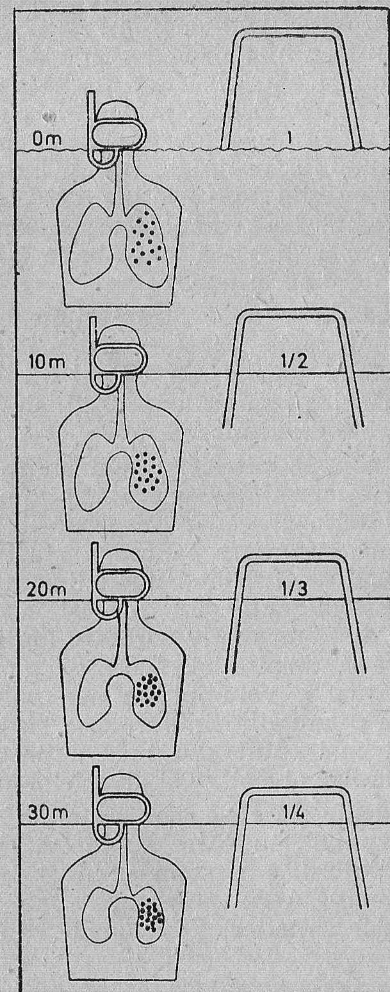


Fig. 1 Scăderea volumului aerului din plămîni, în funcție de presiunea apei la nivele diferite de scufundare : 1/2 la 10 m ; 1/3 la 20 m ; 1/4 la 30 m adîncime.

dente biomecanice deosebite (barotraumatisme auditive și subpresiune pulmonară).

Zonă critică se află deci aproape de suprafață!

Mai notăm și un alt fapt important: tot în această pătură superficială, scafandrii cu căști sînt expuși unor grave accidente. Casca și partea superioară a costumului poate închide o bulă mare de aer, foarte sensibilă la variațiile de presiune. Ca urmare a acestui fapt, omul este puternic azvîrlit la suprafața apei și riscă o embolie gazoasă sau accidente de decompresiune.

Dimpotrivă, lipsa de contrapresiune în cască și deci în plămîni poate transforma casca într-o ventuză care-i aspiră sîngele din față și ochii „ies" din orbite. Numărul scafandrilor morți de pe urma acestor accidente este încă mare.

Dar și în timpul imersiei la adîncime, în special la urcarea spre suprafață, se poate întîmpla ca presiunea din interiorul căilor respiratorii și pulmonare să devină mai mare ca cea a mediului acvatic: este cazul scufundătorului alimentat de un aparat de respirat (autonom) care își întrerupe actul expirator dintr-un motiv oarecare (oprire reflexă sau voluntară a respirației, blocarea glotei* etc.). În această situație, volumul de aer pulmonar va crește pînă la o anumită limită, peste care se instalează leziuni mai mult sau mai puțin grave ale pleurei, capilarelor alveolare și alveolelor pulmonare.

Alte accidente care se pot întîmpla scufundătorului în drumul său către suprafață sînt legate de dilatația puternică a stomacului și intestinului (colici intestinali). Aerul comprimat sau amestecurile respiratorii sintetice, „consumate" în cantități

---

* Porțiunea cea mai strîmtă a laringelui, situată la nivelul corzilor vocale.

mari la adîncimi relativ mari, își măresc volumul la urcare, determinînd destinderea rapidă a stomacului și intestinului, distensii însoțite de o abundentă secreție gastrică și intestinală și dureri violente în cavitatea abdominală.

Arătam, la începutul acestui capitol, că în practica scufundării, alături de modificările volumelor gazelor, un rol de seamă îl joacă și variațiile densității gazelor, care cresc odată cu creșterea presiunii hidrostatice.

Legat de această problemă este de notat și faptul că densitatea diferitelor structuri care alcătuiesc corpul uman (oasele, mușchii, lichidele — într-un cuvînt țesuturile dure și moi —) nu variază decît foarte puțin (în mod nesemnificativ) cu adîncimea de scufundare. În schimb, cavitățile cu gaze (căile respiratorii, pulmonul, urechea mijlocie, tubul digestiv etc.) sînt susceptibile de serioase variații ale densității odată cu creșterea presiunii (adîncimii). Așa se explică de ce un scufundător nu poate pluti la suprafața apei și, începînd cu adîncimea de 10—12 m, se va scufunda din ce în ce mai rapid: presiunea hidrostatică va reduce volumul gazelor din aceste cavități și va crește densitatea lor.

Ca regulă generală, densitatea întregului organism în imersie va depinde de volumul de aer din plămîni, mai precis de diferența volumelor de aer din timpul inspirației și expirației totale, care este de 5 l. Creșterea densității aerului din cavitățile menționate se repercutează în mod negativ asupra gradului de flexibilitate și fluență a aerului în sistemul respirator (în primul rînd) și apoi în conductele elastice ale aparatului autonom.

Practic, ventilația pulmonară (intrările și ieșirile de aer din aparatul respirator) se realizează mai

greu, cu un consum sporit de energie din partea organismului.

Ventilația pulmonară a unui acvanaut, ce se scufundă la adîncimi ce nu depășesc 55 m, prezintă unele adaptări naturale care permit o oarecare reducere din intensitatea travaliului respirator și anume : crește profunzimea mișcărilor respiratorii, iar frecvența lor scade (bradipnee).

Depășirea adîncimii de 55 m anulează complet eficiența mecanismelor adaptării amintite, făcînd să apară unele modificări de ordin morfofuncțional, la nivelul sistemului respirator.

Evitarea unor asemenea tulburări, care sînt cu atît mai grave cu cît gazul conținut în pulmon este mai dens, se poate face prin înlocuirea aerului de respirat (aer comprimat) cu amestecuri respiratorii sintetice, de exemplu 2% O_2 și 98% He. Față de aerul comprimat, aceste amestecuri — heliu-oxigen — măresc mai puțin densitatea.

Rezultă din cele prezentate pînă acum, cu privire la „respirația subacvatică", că primenirea aerului de pe traiectul căilor respiratorii și din spațiile lobulilor pulmonari nu va prezenta tulburări de dinamică atît timp cît aerul inspirat va avea o presiune egală cu cea a apei de la adîncimea de staționare.

a) Schimbul de gaze la presiuni crescute

După cum se știe, schimbul de gaze este strîns legat de presiunea parțială a gazului considerat. Presiunile parțiale optime sînt acelea pe care le au oxigenul, dioxidul de carbon și gazele inerte la presiunea de o atmosferă. Așa cum am arătat, există însă și unele profesiuni care se exercită în medii cu presiuni mai mari de o atmosferă. În acest caz

se ridică o serie de probleme noi, care pun în discuție rezistența organismului și stabilirea limitelor în care apar fenomene de adaptare compensatorii.

Rolul oxigenului. Trecerea oxigenului din aerul atmosferic sau din amestecurile sintetice (aflate în pulmon) în sînge are la bază un proces de difuziune, proces condiționat de presiunea parțială a oxigenului (pO_2).

Organismul uman tolerează în mod nelimitat O_2, cu condiția ca presiunea sa parțială să nu depășească 40% dintr-o atmosferă. Cu alte cuvinte, pO_2 în amestecul respirator, în condiții fiziologice normale — normoxie — poate varia între 17—40% O_2 (9,17—0,40 atmosfere).

Scăderea sau creșterea pO_2 sub și peste limitele menționate duce la apariția fenomenului de hipoxie și, respectiv, hiperoxie.

Starea de hipoxie întîlnită în rîndul scufundătorilor este destul de rară ; ea are drept cauză unele deficiențe la nivelul aparatelor de respirat cu circuit închis sau cantitatea redusă a O_2 în amestecurile respiratorii sintetice.

În această stare, țesuturile organismului primesc o cantitate mai mică de oxigen decît în mod normal, din cauza presiunii parțiale scăzute a oxigenului ; sîngele nu se mai poate satura cu oxigen ; diferențele de presiune parțială a O_2 între capilarele arteriale și țesuturi devin foarte mici.

Rezultatul acestei insuficiente aprovizionări cu oxigen este apariția unor tulburări în activitatea nervoasă : stări de excitație întovărășite de o ideație anormală și chiar idei fixe, apoi tulburări circu-

latorii, frecvență cardiacă crescută, cianoze * și, în fine, fenomene de dispnee **.

În toate sistemele de coborîre în adîncimi, unde oxigenul scade considerabil, se recurge la administrarea artificială a acestuia, livrat de cilindri speciali, lumînări de *K* sau *Na*, iar mai recent, de electroliza apei.

Starea de hiperoxie întîlnită frecvent la personalul medical (care administrează oxigen pur în camere hiperbarice), la acvanauții din incintele submarine (case-laborator), la persoanele supuse testului hiperbaric cu concentrații crescute de O_2 se manifestă numai atunci cînd pO_2 este cuprinsă între 0,40 și 2 atmosfere și cînd aceasta acționează un timp mai lung sau mai scurt asupra organismului, în următoarele cazuri :

— utilizarea O_2 la presiuni relativ ridicate este posibilă numai în scufundările de suprafață, la adîncimi mai mici de 7 m ;

— pentru imersiile de scurtă durată este posibilă folosirea O_2 la presiuni parțiale crescute, deoarece tulburările iritative de la nivelul plămînului nu apar imediat ; ele se manifestă la cîteva ore de la începutul scufundării și dispar imediat ce se respiră din nou aer atmosferic (normal). Dacă aceste scufundări scurte sînt însă repetate de mai multe ori, în cursul aceleiași zile, tulburările respiratorii nu se vor manifesta decît după cîteva săptămîni ;

* Colorație albăstruie a pielii și mucoaselor, fără extravazare sanguină.

** Tulburare respiratorie de origine pulmonară, sau de altă natură, caracterizată subiectiv prin „sete de aer" și obiectiv prin tulburarea ritmului, amplitudinii sau a frecvenței respiratorii.

— limita maximă de toleranță a organismului uman la pO_2 foarte crescute (2,3 kg/cm^2) este doar de cîteva ore ;

— în cazul scufundării de saturație (o staționare sub apă de ordinul zilelor sau săptămînilor) se recomandă ca PO_2 din amestecurile respiratorii să nu depășească 0,3 atmosfere.

Concentrațiile mari de O_2, deci și presiunile parțiale ale O_2 ridicate sînt susceptibile de a induce unele tulburări mai mult sau mai puțin grave, cum ar fi : dureri retrosternale, reducere a capacității vitale, bronșite, leziuni pulmonare, tremurături și convulsii, pierderea stării de conștiență.

Se pare că efectul toxic al O_2 hiperbar este potențat de variațiile termice ale mediului acvatic, de intensitatea efortului fizic și scăderea *pH*-ului sanguin.

Testele din ultima vreme, privind limitele de toleranță la acțiunea O_2 hiperbar, la scufundătorii amatori și profesioniști, au scos în evidență o mare diversitate de răspunsuri individuale în legătură cu comportamentul lor general și cu valoarea unor indici fiziologici ca frecvență cardiacă, ritm respirator, tensiune arterială etc.

În privința modului de acțiune al O_2 hiperbar, numeroase experiențe au arătat că acesta are ca efect de bază inactivarea enzimelor. Astfel, ribonucleaza * (care a fost mai mult studiată) prezintă o viteză de agregare scăzută în urma aplicării pO_2 ridicate, dar aceasta revine la normal după decomprimare. De asemenea, agregarea subunităților de miozină ** este încetinită ca urmare a aplicării pO_2 crescute.

* Enzimă care catalizează hidroliza ribonucleotidelor din compoziția acidului ribonucleic.

** Substanță proteică specifică țesutului muscular.

Oxigenul hiperbar poate exercita și o acțiune toxică la nivelul unor verigi ale lanțului respirator celular, modificînd echilibrul trecerii configurațiilor -SH-HS- în -S-S- echilibru care este deplasat spre forma disulfidică.

Nu este exclusă nici ipoteza după care pO_2 ridicată ar acționa, cu predilecție, la nivelul sistemului nervos central, declanșarea crizei convulsive fiind consecința alterării moleculelor lipoproteice de la nivelul mitocondriilor și lizozomilor și a supracombustiei grăsimilor, glucidelor și proteinelor din țesutul nervos.

Efectul toxic al concentrațiilor mari de oxigen constituie, la ora actuală, factorul limitativ al utilizării aerului comprimat în imersiile de mare adîncime (la 100 m, $pO_2 = 2$ atmosfere, deci hiperoxie în toată regula).

De asemenea, pentru amestecurile sintetice, menținerea pO_2 în limite fiziologice normale (normoxie) se înscrie ca o condiție obligatorie pentru fiecare scufundător : la 100 m adîncime, concentrația O_2 în amestec trebuie să nu depășească 5%, iar pentru 300 m, sub 1%.

Revenirea scafandrului la suprafață necesită, dimpotrivă, o creștere a cantității de O_2 în amestecul respirator, în vederea evitării hipoxiei.

Rolul dioxidului de carbon (CO_2). La nivelul proceselor de oxidoreducere rezultă și produși catabolici finali, printre care CO_2 joacă un rol de seamă. Acest gaz, din celulă trece în sînge, unde o parte se dizolvă, o parte se transformă sub acțiunea unei enzime în acid carbonic, care se combină cu sodiul, formîndu-se bicarbonat de sodiu, și o altă parte se leagă de diferite substanțe proteice, în special hemoglobină, cu care dă compusul numit carbohemoglobină.

La nivelul alveolelor pulmonare el se desface din toate aceste combinații, cu aceeași ușurință cu care a intrat în ele, și difuzează în aerul alveolar. În acest dublu joc, factorul hotărîtor îl are presiunea parțială a gazului ; în țesuturi, unde se degajă CO_2, această presiune este mai mare decît în alveolele pulmonare și, de aceea, în țesuturi are loc încărcarea sîngelui cu CO_2, iar la nivelul capilarelor alveolare se produce descărcarea lui, cea mai mare proporție eliminîndu-se deci pe cale respiratorie.

Pentru „lumea submersă" creșterea concentrației CO_2 în sînge, din diverse motive (defectarea instalațiilor de epurare a CO_2-ului, insuficiența respiratorie etc.), poate produce intoxicații de diverse grade, motiv pentru care fixarea și neutralizarea lui (din incintele hiperbare sau în aparatele cu circuit închis și semiînchis) constituie o preocupare de bază, chiar cînd concentrația sa este de numai 1% în aerul respirat.

Îndepărtarea acestui gaz se realizează prin fixarea sa cu ajutorul unor soluții de monoetanolamină sau hidroxid de sodiu, calce sodată și anumiți schimbători de ioni.

Variațiile concentrației CO_2-ului în aerul respirat. Dacă ne reținem respirația, în inspirație, timp de 15-20 secunde, constatăm că la reluarea mișcărilor respiratorii, acestea sînt mai profunde și mai frecvente la început și apoi, treptat, revin la normal. Dimpotrivă, după o hiperventilație pulmonară timp de 20-30 secunde, mișcările respiratorii sînt superficiale, pentru scurt timp fiind chiar oprite. În primul caz, prin oprirea ventilației pulmonare a avut loc o acumulare în sînge a unei cantități de CO_2 mai mare decît în cursul ventilației normale ; în al doilea caz, prin hiperventilație conținutul sîngelui în

CO_2 a scăzut sub valoarea din timpul ventilației normale.

Așa este cazul scufundătorilor liberi (amatori și profesioniști) care, pentru a mări timpul de imersie, efectuează (înainte de plonjarea în apă) cîteva hiperventilații profunde.

De aici se trag o serie de concluzii : creșterea conținutului de CO_2 în sînge stimulează activitatea centrului respirator (pînă la un anumit punct) și prin aceasta crește ventilația pulmonară ; scăderea conținutului de CO_2 în sînge duce la inhibarea și chiar oprirea ventilației pulmonare și la diminuarea acțiunii stimulatoare a centrului respirator — cu toate că gradul de oxigenare a sîngelui a rămas același.

În esență, rolul principal în reglarea respirației revine concentrației CO_2, motiv pentru care a fost denumit „hormon respirator".

Creșterea CO_2-ului în sîngele scufundătorului produce o serie de fenomene caracteristice, în funcție de concentrația gazului din aerul de respirat :

— creșterea concentrației CO_2-ului de la 0,03 la 0,2% (în aerul alveolar și deci în sîngele arterial) duce la dublarea numărului respirațiilor, acestea devenind în același timp și mai profunde ;

— la concentrația de 3% frecvența și amplitudinea respirației crește și mai mult. Se produce și o mărire a tonusului vasomotor, a tensiunii arteriale, o hipersecreție de adrenalină, o creștere a volumului sanguin total și acidoză ;

— între 5 și 10% volumul respirator înregistrează cote maxime (50-60 l/minut), apar dureri de cap și bătăi în urechi ;

— peste 10% se instalează o depresiune cardiorespiratorie (rărirea bătăilor inimii și a mișcărilor

respiratorii), amețeli, narcoză și comă (pierderea sensibilității și a cunoștinței) ;

— limita toxică mortală a creșterii presiunii parțiale a CO_2-ului în aerul respirat este de 1/3 atmosferă (30-33%).

Asupra efectelor CO_2 din aerul inspirat cercetările vechi apreciau că o creștere de scurtă durată, pînă la 30% nu determină efecte nocive. S-a arătat însă că după 24 ore apare o stare de euforie, cu creșterea capacității asociative, urmată mai tîrziu de o depresie. Efectul euforic se obține prin acțiunea stimulantă a CO_2 asupra neuronilor, în ordinea : centri respiratori, centri vasomotori, formația reticulată etc. Datorită acestui efect se apreciază azi concentrația admisibilă a CO_2 ca fiind de 0,5, eventual 1%, în aerul respirat.

Efectele nocive ale CO_2 se accentuează pe măsură ce scafandrul se afundă la adîncimi din ce în ce mai mari. Astfel, o concentrație a CO_2 de 2% la suprafața apei va avea, la adîncimea de 35 m, o presiune parțială corespunzătoare unei concentrații de 8%. În afară de aceasta, CO_2 în condițiile hiperbarismului facilitează acțiunea toxică a gazelor inerte și a oxigenului și favorizează apariția emboliei.

Gazele inerte. Azotul, heliul, hidrogenul, argonul, xenonul etc., din punct de vedere al respirației, nu participă ca și celelalte gaze (O_2, CO_2) la schimburile metabolice ; ele sînt eliminate în actul expirator în aceeași proporție în care au fost inhalate ; din alveolele pulmonare, în funcție de presiunea lor parțială, străbat bariera alveolo-capilară, ajungînd sub formă solvită în plasma sanguină, lichidul interstițial și în cele din urmă în țesuturi. Saturarea completă a majorității țesuturilor organismului cu gaze inerte, și în special cu azot, se face în circa 10-20 ore de la scufundare.

Ținînd seama de proporția azotului în amestecul respirator natural (79%) și de coeficientul său de solubilitate (1%), la presiunea de 760 mm Hg și 0°, în organism se găsesc circa 800—1000 cm^3 azot. Cînd presiunea va crește, va crește proporțional și presiunea parțială a azotului, astfel că acesta se va dizolva în plasmă și țesuturi într-o proporție mult mai mare. (La o presiune de 2 atmosfere vor exista 2 l azot, iar la 5 atmosfere, 5 l azot.) Dizolvarea mai depinde și de natura țesutului (predilecție sporită prezintă țesutul adipos și cel nervos), de timpul de ședere la o anumită adîncime și de irigarea sanguină a țesutului.

Omul, ca dealtfel și animalele marine, suportă foarte bine această creștere a cantității de azot solvit și nu apar nici un fel de tulburări, atîta vreme cît se păstrează presiunea atmosferică crescută.

Un pericol de seamă în patologia profesională, legat de munca la adîncime, este reprezentat de *decompresiunea bruscă*, de trecerea rapidă de la o presiune ridicată la o presiune scăzută. Ridicarea bruscă a scafandrului la suprafață face ca azotul dizolvat să treacă în formă gazoasă, cu apariția de bule de gaz atît în lichidele din organism, cît și în țesuturi, mai ales în cele cu un conținut bogat în grăsimi în care azotul este mai solubil. Degajarea acestor bule gazoase determină apariția de obstacole în circulația sanguină prin capilare (embolii gazoase) sau dilacerări și rupturi la nivelul țesuturilor.

Efectul, denumit embolie gazoasă, poate fi evitat dacă scufundătorul se ridică treptat (decompresie lentă) ; gradientul de presiune nefiind prea mare, gazul inert va rămîne solvit în plasmă și țesuturi, eliminîndu-se sub formă gazoasă doar la nivelul alveolelor pulmonare.

Accidentele de decompresiune, care pot fi sub raport medical grave și de durată, apar destul de repede după ieșirea din apă, în intervalul cuprins între 30 minute și 3 ore. Ele au fost studiate încă din 1878 de genialul precursor al scufundărilor Paul Bert și apoi de englezul Haldane și americanul Behnke. Anglo-saxonii au denumit aceste accidente „bends" și ele afectau pe toți cei care lucrau sub presiune : cei ce săpau tunelurile podurilor, scafandrii, ca și pe pescuitorii de bureți. Aceștia, cînd ieșeau din apă, erau cuprinși de dureri, rămînînd încovoiați într-o anumită poziție. Accidentele porneau de la simple furnicături prin piele, trecînd la dureri substernale și articulare de intensitate crescîndă, dureri pe traiectul nervilor, tulburări respiratorii și cardiace, paralizii.

Degajarea de bule la nivelul articulațiilor sau țesuturilor adiacente provoacă dureri violente și proastă funcționalitate a acestor articulații. Obstruarea arterelor măduvei spinării din regiunea toracolombară atrage după sine paralizia membrelor inferioare.

Alte embolii, de exemplu în regiunea hipotalamică, unde se găsesc centri foarte importanți pentru reglarea funcțiilor vitale, sau o embolie în zona centrilor respiratori, pot determina tulburări ca oprirea respirației și moartea imediată.

Tratamentul în accidentele de decompresie constă în introducerea de urgență a celui în cauză în barocameră, în vederea efectuării recompresiei terapeutice. Prin această operație bulele își micșorează volumul și trec din nou în forma solubilă. Urmează apoi decompresia lentă și, concomitent, dispariția manifestărilor patologice.

Pericolul aeroemboliei este cu deosebire accentuat — și aici trebuie neapărat luate măsuri — la

muncitorii care lucrează în chesoane și la scafandri. Readucerea la presiunea atmosferică se face în mod progresiv. La suprafață, pe vasul care asigură alimentarea și operațiile de plonjare în apă a chesoanelor, se găsește o cameră barometrică în care muncitorii subacvatici sînt introduși, îndată după scoaterea din adîncime, la valoarea presiunii atmosferice, timp de 1-2 ore, durata decomprimării fiind în raport cu adîncimea la care s-a lucrat. În felul acesta, gazele ce se găsesc în suprasaturație în sînge (în special) sînt degajate continuu, progresiv, la trecerea sîngelui prin circulația pulmonară.

Astăzi însă se utilizează pe scară largă o altă metodă — metoda de decompresie în trepte — preconizată de Haldane.

Cum se procedează? Să presupunem că scafandrii au efectuat o anumită muncă la adîncimea de 40 m, unde presiunea totală este de 5 atmosfere (suprapresiunea fiind de 4 atmosfere). După terminarea muncii ei vor urca spre suprafață, oprindu-se însă un anumit timp la o adîncime corespunzătoare presiunii de 2,4 atmosfere pentru a efectua decompresia („primul palier de decompresie"); apoi, din nou vor efectua un popas la o presiune de 1,2 atmosfere, și, în sfîrșit, ultima „stație", la presiunea obișnuită de la suprafața apei.

În esență, decompresiunea se face lent, în etape care durează ore sau zeci de ore, mai ales dacă este vorba de tratament. Palierele sînt inegale: de exemplu, în decompresiunea terapeutică de la 30 m adîncime se utilizează zece paliere cu durata de 1—20 ore.

În prezent există tabele de decompresie (atît pentru aerul atmosferic natural cît și pentru amestecurile respiratorii sintetice), care cuprind timpii de decompresie pentru fiecare oprire (palier) și adîncimea la care scafandrul se va opri pentru a efectua palierul.

Respectarea acestor tabele de decompresie constituie o normă elementară, obligatorie pentru fiecare scafandru autonom, ea fiind de fapt singura în măsură să asigure profilaxia „bolii de decompresie".

Dar gazele inerte prezintă și alte efecte asupra organismului scafandrului autonom în imersie: este acum un fapt bine stabilit că după depășirea anumitor limite de adîncime, în timpul respirării azotului din aerul comprimat sau a neonului, argonului, hidrogenului, heliului din amestecurile respiratorii sintetice, la scafandri apar unele manifestări care alcătuiesc tabloul denumit „beția adîncurilor" sau narcoza cu gaze inerte.

Fenomenul se manifestă la început printr-un ușor dezechilibru asemănător cu cel pe care-l provoacă prima inspirație dintr-un anestezic sau intoxicația cu alcool, după care scufundătorul are impresia că a devenit o ființă supranaturală. Dacă acestuia i se pare că un pește (care trece prin fața lui) respiră cu greutate, este gata să-și scoată tubul respirator din gură și să i-l ofere cu generozitate. Printre alte tulburări caracteristice „beției adîncurilor" se mai menționează: starea de euforie, incapacitatea coordonării mișcărilor, latența foarte mare în răspunsurile la excitanții tactili, olfactivi, auditivi, vizuali, slăbirea memoriei (reducerea performanței de calcul matematic mintal) și, în final, pierderea cunoștinței.

Față de acțiunea alcoolului sau a stupefiantelor, beția marilor adîncuri prezintă însă avantajul că rămîne fără urmări. Este de ajuns ca scufundătorul intoxicat să urce cîțiva metri, pentru ca mintea să i

se limpezească, acest gen de beţie fiind lipsit de consecinţe.

Beţia adîncurilor îşi face apariţia, în funcţie de individ (cei mai sensibili), la o adîncime de 30-40 m şi ajunge la intensitatea unei adevărate anestezii (pierderea cunoştinţei) la 120 m. Majoritatea scufundătorilor prezintă simptomele narcozei între 85-95 m adîncime.

În prezent, pericolul narcozei pentru adîncimile de peste 60 m a fost înlăturat prin folosirea amestecurilor de heliu şi oxigen (heliox) sau de aer comprimat şi hidrogen.

În privinţa mecanismului de acţiune al gazelor inerte cu presiune parţială crescută, asupra sistemului nervos central, acesta pare a fi similar cu cel al anestezicelor generale.

Există, în acest sens, mai multe teorii, dintre care aici vom menţiona numai două : a solubilităţii lipoizilor şi teoria metabolică.

Teoria solubilităţii lipoizilor se bazează pe corelaţia între acţiunea agenţilor anestezici şi solubilitatea lor în lipoizi (care se găsesc în membranele celulare şi în alte elemente din celule), asociată cu slaba lor solubilitate în apă. Efectele narcotizante ale gazelor inerte (azot, argon, kripton şi xenon) sînt atribuite solubilităţii lor mari în lipoizi.

Teoria metabolică arată că anestezicele (în cazul de faţă gazele inerte) micşorează consumul de oxigen al ţesutului cerebral şi reduc oxidarea glucozei. Efectele inhibitoare asupra metabolismului cerebral depind de interferenţa cu funcţia unei enzime oxidante, poate prin blocarea interacţiunii dintre flavoproteină şi citocromul b.

Din cele expuse mai sus rezultă că apariţia fenomenului de narcoză, ca urmare a creşterii presiunii parţiale a gazelor inerte, odată cu creşterea adîncimii, limitează serios posibilitatea folosirii aerului comprimat şi a unor amestecuri respiratorii sintetice la mari adîncimi de către scufundătorul autonom.

3. *Sistemul cardio-vascular în timpul scufundării*

Cînd un om plonjează în apă şi se scufundă, unii parametri caracteristici activităţii cardiace se modifică. Astfel, la omul adult, în repaus, frecvenţa cardiacă este de 60—75 bătăi/minut, iar în timpul imersiei (fie că subiectul stă liniştit sau înoată) se observă o bradicardie (frecvenţă cardiacă mai mică, între 50—55 bătăi pe minut). Din acest punct de vedere, omul se aseamănă cu toate celelalte vertebrate scufundătoare.

Bradicardia, ca reacţie spontană imediată, în vederea reducerii consumului de oxigen, îşi face apariţia la circa 20—30 secunde de la imersie, iar după 30—40 secunde de scufundare încep să apară diverse aritmii (tulburări ale frecvenţei cardiace), modificări ale electrocardiogramei * (o uşoară prelungire a intervalului *QT* şi unda *T* de formă ascu-

* Electrocardiograma reprezintă un traseu înregistrat cu ajutorul aparatelor numite electrocardiografe, format dintr-o succesiune de unde pozitive şi negative, faţă de linia zero (izoelectrică), notate cu literele P, Q, R, S, T şi corespunzînd diverselor etape din desfăşurarea curenţilor de acţiune ale masei atriale şi ventriculare. Astfel, unda P, normal pozitivă, corespunde fazei atriale a ciclului cardiac ; Q (negativă), R (pozitivă), S (negativă) formează un complex (QRS) care corespunde fazei de invazie a impulsurilor, prin ţesutul nodal în ventricule ; unda finală T, pozitivă, corespunde retragerii curentului electric din miocard. Deci, atît complexul QRS, cît şi unda T sînt expresia proceselor care au loc la nivelul ventriculelor.

Modificările segmentului QT şi undei T în timpul imersiei sînt traduse ca uşoare şi reversibile modificări de irigaţie şi metabolice la nivelul miocardului.

ţită, uneori chiar inversată) şi ritmuri idioventriculare *.

Presiunea arterială. Sîngele înaintează prin vase şi trece prin reţelele capilare din ţesuturi sub acţiunea presiunii care se exercită asupra lui, ca urmare a sistolei (contracţiei) ventriculare.

Se disting două componente ale presiunii arteriale: presiunea maximă (sistolică) = 120—140 mm Hg şi presiunea minimă (diastolică) = 70—80 mm Hg (la omul adult în repaus).

În timpul scufundării libere în apă, presiunea maximă rămîne la valori normale sau chiar poate creşte, iar cea minimă scade, fapt ce demonstrează că torentul sanguin circulă cu viteză redusă, cauza principală constituind-o vasoconstrucţia periferică a vaselor sanguine. Volumul sanguin şi irigarea sanguină a organelor periferice ale scufundătorului (mînă, antebraţ, gambă etc.) suferă modificări notabile în sensul reducerii acestora.

Unele poziţii specifice ale corpului în scufundare atrag şi ele modificări în dinamica sistemului vascular, modificări care contribuie, în primul rînd, la crearea unei senzaţii de disconfort. Respectivele modificări circulatorii se referă mai ales la circulaţia sîngelui prin vena cavă superioară, venă lipsită de aparat valvular. În timpul coborîrii, capul şi trunchiul prezintă o poziţie declivă („verticală cu capul în jos"), poziţie care favorizează staza venoasă în cava superioară.

---

* Un fel de bloc atrio-ventricular, de foarte scurtă durată, în care curentul electric al inimii (potenţialul de acţiune) nu trece de la atrii la ventricule: atriile se contractă în ritmul dictat de nodulul sinusal (70—80 bătăi/minut), pe cînd ventriculele se contractă într-un ritm independent, dictat de propriul lor ţesut specific (ritm de 30—40 bătăi/minut).

Un alt fapt important este şi acela că în sîngele venos al scufundătorului cantitatea de acid lactic (rezultat din activitatea musculară) se află la un nivel minim ; el se acumulează în muşchi în această perioadă, pentru ca apoi să treacă rapid în sîngele venos, odată cu încetarea imersiei.

4. *Urechea mijlocie şi... scufundarea*

Anumite cavităţi cu conţinut gazos (sinusurile maxilare şi frontale), ca dealtfel şi urechea mijlocie resimt intens variaţiile presiunii ambiante în anumite momente ale imersiei.

În cazul urechii mijlocii, un rol de seamă în echilibrarea presiunilor şi, deci, în funcţionarea ei, revine trompei lui Eustachio *. Prin conectarea cavităţii (casei) timpanice cu nazo-faringele şi, în acest mod, cu exteriorul (mediul ambiant), trompa lui Eustachio oferă un mijloc de reglare a presiunii aerului în urechea mijlocie. În acest fel, presiunile de pe ambele părţi ale membranei timpanice (fig. 2) pot fi menţinute egale. Cum ? În mod obişnuit, trompa este închisă prin alipirea celor doi pereţi, dar ea se poate deschide la fiecare deglutiţie (înghiţire), căscat sau strănut. Omul, în mod automat, înghite ori de cîte ori excitaţiile provenite de la membrana timpanică îl avertizează asupra inegalităţii presiunilor din cele două părţi ale ei.

În cazul schimbărilor severe de presiune, ca acelea întîlnite în timpul coborîrii acvatice libere, reglarea presiunii aerului din urechea mijlocie poate pune probleme serioase. În această situaţie, cînd presiunea ambiantă creşte, timpanul se va bomba

---

* Urechea mijlocie este în comunicare cu faringele printr-un canal osos şi cartilaginos, numit trompa lui Eustachio.

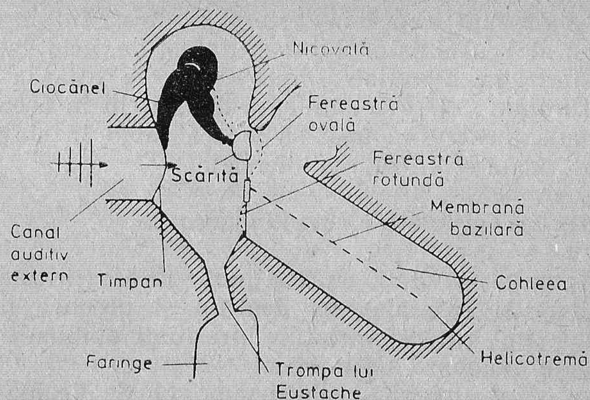


Fig. 2 Poziția timpanului și a trompei lui Eustachio la o ureche echilibrată.

spre interiorul urechii mijlocii. Creșterea și mai puternică a presiunii hidrostatice poate duce la ruperea timpanului, fenomen întovărășit de un „puternic" sunet exploziv, dureri intense în ureche, grețuri, amețeli și o stare generală de șoc.

Cauza unor asemenea accidente grave, care de multe ori se soldează cu surditate și deficiențe de echilibru sînt datorate lipsei de echilibru a presiunilor : presiunea hidrostatică care-și exercită acțiunea pe fața externă a timpanului nu mai poate fi contracarată de presiunea de pe fața internă a timpanului, deoarece trompa lui Eustachio s-a blocat (fig. 3).

Cum pot fi evitate asemenea deficiențe și accidente ?

La circa 10 m adîncime scafandrul autonom percepe doar ușoare dureri în urechi, dureri care prin înghițirea salivei (așa cum se procedează și în călătoriile cu avionul) dispar : s-a produs deblocarea (desfundarea) trompelor lui Eustachio !

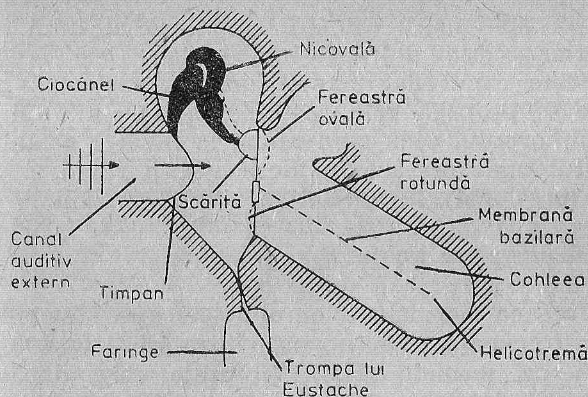


Fig. 3 Poziția timpanului și a trompei lui Eustachio, la o ureche neechilibrată.

Dar mecanismul de echilibrare a presiunilor în timpul coborîrii la peste 10 m se realizează prin alte procedee : expirații forțate cu nările și gura închise (manevra Valsalva). Prin asemenea manevre Valsalva se grăbește trecerea aerului din căile respiratorii în urechea mijlocie, calea de legătură oferind-o trompa lui Eustachio.

Efecte nocive asupra sănătății scufundătorului pot avea și unele zgomote produse cu ocazia folosirii explozibilului subacvatic, cînd s-ar putea să apară leziuni — mai mult sau mai puțin grave — la nivelul urechii interne, timpanului, urechii mijlocii sau organelor interne.

Unele rezultate experimentale obținute cu această ocazie sînt foarte interesante și merită a fi relatate. Un scufundător fără costum rezistă mai bine la exploziile produse de o dinamită, decît un scafandrier cu cască. Acest fapt — curios la prima vedere — are următoarea explicație : undele de presiune se propagă cu aceeași viteză, atît în corpul omului cît

și prin apa mării. Punctul slab însă al unui scafandrier clasic îl reprezintă casca. Deși aceasta ocrotește capul de un șoc direct, undele de presiune se propagă prin costumul simplu și în interiorul corpului pînă cînd ajung la nivelul gîtului și capului unde creează un dezechilibru rapid și violent (presional), în special la nivelul urechii.

5. *Auzul și fonația în timpul imersiei*

Urechea normală a omului percepe sunetele a căror frecvență este cuprinsă între 16 și 21 000 vibrații pe secundă (Hz). Vibrațiile care depășesc aceste limite nu sînt percepute de ureche sub formă de senzații auditive ; cele situate sub limita inferioară sînt percepute ca senzații tactile — infrasunetele —, cele de deasupra limitei superioare, ca senzații dureroase, iar altele nu sînt percepute deloc — ultrasunetele. Vocea umană de conversație este cuprinsă aproximativ între 500 și 2 500 de vibrații pe secundă.

Viteza sunetelor și ultrasunetelor este de aproximativ 335 m/s în aer și de 1 432 m/s în apă, motiv pentru care acvanauții sînt în stare să perceapă sunetele și zgomotele submarine de la mare distanță. Aceasta este și cauza pentru care zgomotele datorate unor explozii submarine mari (aflate la distanțe foarte mari de scufundători) reprezintă tot atîtea pericole pentru aceștia : vibrațiile mecanice foarte puternice ale explozibilului sînt repede „percepute" de corpul omului.

Dar ce aude omul sub apă ? Oceanul, în această privință, pare o lume a tăcerii. Un zgomot submarin este atît de rar, încît i se acordă numaidecît o importanță foarte mare.

După cum afirmă J. Y. Cousteau „viețuitoarele din mare își exprimă temerile, suferințele și bucuriile fără vorbărie. Strigătele balenelor și ale delfinilor, «orăcăitul» unor pești ciudați și trosnetele misterioase sînt singurele zgomote cunoscute de mine, care tulbură din cînd în cînd tăcerea aproape încremenită a mării".

Sub apă — scufundătorul cu urechile libere — percepe unele zgomote sub forma unor scrîșnete slabe, continue. Se aude ceva similar operației pe care o face un om cînd netezește la mare distanță o alee pavată cu pietriș.

Fonația — producerea sunetelor. Expulzarea aerului din plămîni pune în vibrație corzile vocale inferioare, a căror tensiune este reglabilă volițional prin mușchii acestora. În acest fel, în raport de curentul de aer expirat și de tensiunea corzilor vocale, vibrația acestora prezintă intensități și frecvențe reglabile.

În privința fonației subacvatice trebuie însă spus că ea este imposibilă în anumite situații, iar în altele se realizează foarte greu. De exemplu, la un scafandru autonom obișnuit, din cauza piesei bucale (cu ajutorul căreia se respiră aerul din rezervor), nu se poate pune problema producerii sunetelor. La scafandrii cu diferite tipuri de căști cu vizori, comunicarea este posibilă numai prin alipirea vizorilor de la cască. La aceștia din urmă, odată cu creșterea adîncimii de scufundare se produce și o deformare a spectrului sonor. Ca atare, vocea celui care vorbește este complet schimbată. Deficiențe și mai marcante în sfera de funcționalitate a corzilor vocale — tulburări de fonație — sînt frecvent întîlnite la scafandrii care folosesc amestecuri respiratorii sintetice (heliox).

Grație progreselor realizate în cucerirea adîncurilor, în momentul de față, vorbirea subacvatică — absolut necesară echipelor de scafandri — se realizează cu ajutorul unor aparate de interfonie cu fir sau fără fir (în ultimul caz folosindu-se ultrasunetele).

În cazul scufundărilor de intervenție sau de realizare a unor obiective deosebite, legătura telefonică este menținută în permanență, iar prin intermediul unei rețele TV (cu circuit închis) echipa de la suprafață urmărește întregul comportament al scufundătorilor.

6. *Lumina, culoarea și... văzul sub apă*

Ca regulă generală în natură se disting două feluri de surse luminoase :

— surse primare, care generează lumină (soare, stele, lămpi cu incandescență) ;

— surse secundare, care nu sînt luminoase prin ele însele, dar difuzează lumina primită de la o sursă primară (cerul, norii, luna). Această reflexie este variabilă cu diferitele lungimi de undă reflectate, deoarece majoritatea sînt absorbite. Natura luminii reflectate determină culoarea obiectului. Toate obiectele care ne înconjură sînt surse secundare, fapt care le permite să fie percepute de către ochi.

În mediul acvatic, lumina solară își pierde din intensitate pe măsură ce crește adîncimea. Explicația acestui fenomen este motivată în felul următor :

— o parte din radiațiile luminoase incidente cînd ajung la suprafața apei sînt reflectate (radiații reflectate) ;

— o altă parte a radiațiilor luminoase sînt absorbite de apă și transformate în energie calorică ;

— în fine, cea mai mare parte a radiațiilor luminoase sînt dispersate de către diferitele particole care se află în suspensie în apă (mîl, nisip, plancton) și chiar de moleculele de apă. Aceste particole sînt asemenea unor „grăunțe“ minuscule de praf într-o rază de soare (fenomenul Tyndall) ; ele reduc vizibilitatea subacvatică și împrăștie lumina, mai înainte ca aceasta să fi atins adîncurile.

Consecința directă a fenomenului de refracție, absorbție și dispersie este că lumina solară nu mai pătrunde sub 500 m adîncime (pînă la această limită pătrund doar razele albastre ale spectrului luminos). Pînă la această adîncime însă intensitatea luminii solare scade progresiv după cum urmează : cu 1/4 la 5 m ; 1/8 la 1/5 m ; 1/30 la 40 m etc., din valoarea măsurată la suprafața apei. De asemenea, gradul de vizibilitate în apă variază în funcție de aceiași factori între 13 m — Marea Baltică — și 60 m, în Oceanul Pacific. Dar transparența apei variază nu numai de la un loc la altul, ci se modifică chiar pe aceeași verticală, trecînd dintr-o pătură într-alta. De exemplu, ea poate fi la suprafață foarte tulbure, încît vizibilitatea să nu depășească 2—3 m. Mai jos, la 5—10 m și pînă aproape de fundul mării vizibilitatea poate crește considerabil. Iată cum descrie J a c q u e s Y v e s C o u s t e a u „mersul“ luminii în decurs de 24 de ore : „Sub mare, începutul zilei apare doar prin schimbări imperceptibile de lumină. Fără îndoială că atunci cînd mijesc zorile, se difuzează o oarecare lumină în întunericul abisului, dar cînd soarele se ridică la orizont, apa nu e inundată de lumină ca în aer liber. Razele de la nivelul apei se refractă la suprafață și ca să pătrundă direct în adîncuri, trebuie să așteptăm ca soarele să urce la amiază. Seara lumina submarină scade treptat, fără amurg

și lumina zilei se transformă în lumină lunară, pînă cînd totul e cuprins de întuneric".

Este incontestabil că prima reacție a omului sub apă este de repulsie, repulsie izvorîtă din teama de întuneric și necunoscut.

Întunericul este ceea ce frapează mai mult pe cel ce pătrunde în adîncurile mării. Și totuși, în mediul marin nu există întuneric deplin, absolut, asemănător celui dintr-o peșteră sau din unele nopți de la suprafața pămîntului. Chiar și în adîncurile mării, tot mai dăinuie puțină lumină, o lumină difuză dată de milioanele de organisme fosforescente.

Văzul cromatic subacvatic. În apa mării, cele 7 culori monocromatice care alcătuiesc spectrul sînt degradate după cum urmează : la o adîncime de 5 m, roșul se transformă în trandafiriu, iar la 15 m e pur și simplu negru ; portocaliul se alterează în același mod ; la 40 m, galbenul începe să se înverzească și toate obiectele capătă aproape aceeași nuanță ; ultravioletul pătrunde mai adînc ; iar la peste 30 m se consideră că mai persistă numai verdele și albastrul. Marea albăstrește totul de la 30 la 500 m adîncime. Aici culorile sînt estompate !

Din cele prezentate cu privire la „culorile subacvatice" rezultă că absorbția acestora de către apă se face caracteristic fiecărei culori (în funcție de adîncime) și că... această absorbție denaturează culoarea reală ! Astfel, sîngele unui pește la 25 m adîncime este verde-albastru, la 18 m maro-închis, la 6 m trandafiriu, iar la suprafață roșu. Sîngele omului, de asemenea, la 15 m adîncime are culoarea verde. Cei ce descriu revărsarea extraordinară de culori în feericele recife de mărgean n-au coborît, fără îndoială, la o adîncime mai mare de 8 m.

Dar vizibilitatea sub apă și văzul cromatic pot fi substanțial îmbunătățite prin folosirea de lumină artificială, obiectele iluminate recăpătîndu-și culoarea reală de la suprafața apei.

În privința procesului fiziologic propriu-zis, de formare a imaginii obiectelor și fenomenelor pe retină (sub apă), trebuie spus că apa mării dispune de o putere de refringență * asemănătoare mediilor transparente ale globului ocular. Lipsa unui mediu aerian (în apă) prin care razele luminoase să treacă și să ajungă în mediile transparente ale ochiului, fac ca imaginea obiectelor să nu se mai formeze în macula lutea a retinei (zona vederii clare), ci în spatele acesteia și vederea să fie neclară, estompată. Această „anomalie" se poate remedia (în cazul celui din apă) prin purtarea unor măști, vizoare sau lentile de contact. Cu ajutorul unor asemenea „ochelari submarini" perfect etanși la față, scufundătorul deslușește perfect obiectele, cu toate că asemenea dispozitive influențează dimensiunea obiectelor, distanțelor dintre ele și cîmpul vizual. Astfel, prin mască, obiectele din apă par mai mari decît în realitate și mai aproape ; ele cresc în mărime (aparent) cu 1,30, iar distanțele se reduc față de normal cu un sfert. Aceasta, pentru că, trecînd din aer în apă, razele luminoase se refractă prin sticla măștii. Creșterea dimensiunilor care rezultă din această iluzie optică face ca un rechin de 2 m să capete — în mod firesc — dimensiunea unui rechin de 3 m... Sub apă, aprecierea exactă a detaliilor și distanțelor cere o oarecare experiență.

* Indicii de refracție ai mediilor ochiului sînt : 1,370 pentru cornee, 1,336 pentru umoarea apoasă și corpul vitos și 1,420 pentru cristalin.

La aceasta se ajunge prin deprindere, ca urmare a analizei corticale la care sînt supuse senzațiile vizuale. Procesul de analiză corticală este întregit în asemenea situații și prin analiza altor senzații (de exemplu, tactile) datorite aceluiași obiect sau ale unor obiecte învecinate. Din îmbinarea acestora se formează la acvanaut simțul spațial, care se perfecționează treptat, pe baza experiențelor sale, adică a verificării în practică.

Fără repere de timp și de spațiu, omul sub apă este dezorientat ; dezorientat psihic, dar și la propriu, fiind supus rătăcirilor. Împotriva acestora nu există decît o salvare, „simțul de orientare“ cu ajutorul busolei. Dar și cu aceasta se ajunge la un moment dat într-un impas. În apă totul este asemănător și, ceea ce este mai grav, nu ai nici un reper de punct cardinal.

Altă consecință a portului măștii este și reducerea considerabilă a cîmpului vizual *. Cîmpul vizual al fiecărui ochi, în condiții normale (la suprafața pămîntului), cuprinde un unghi de circa 160° în meridianul orizontal și de 145° în cel vertical. În scufundare, el se reduce la 45° și respectiv 35°, acesta fiind și motivul pentru care „privirea de ansamblu“ este mai redusă în apă.

7. *Producerea și pierderea de căldură sub apă*

Menținerea constantă a temperaturii corporale centrale, la om, ca dealtfel și la celelalte homeoterme **, este rezultanta echilibrului între procesele

* Cîmpul vizual al unui ochi reprezintă spațiul exterior văzut de ochi în momentul în care privirea este fixată într-o anumită direcție.

** Animale (păsări și mamifere) a căror temperatură centrală se menține constantă indiferent de variațiile termice din mediul extern.

termogenetice (producătoare de căldură) și termolitice (eliminarea căldurii din organism). Din jocul echilibrat al acestora rezultă homeostazia * termică a corpului.

După natura celor două procese menționate, corpul omului poate fi constituit din două zone : nucleul — sau zona centrală — cu o temperatură constantă și periferia sau învelișul — cu o temperatură variabilă.

Procesele termogenetice au loc în toate celulele organismului ca o consecință a reacțiilor de oxidoreducere care se petrec la acest nivel.

Producerea de căldură are valori minime în zona de neutralitate termică **, care pentru omul îmbrăcat este între 20—22°C, iar pentru cel dezbrăcat, între 26—28°C în aer. În apa fără curenți această zonă oscilează, la omul dezbrăcat, între 32—34°C.

Ca sedii mai importante ale termogenezei menționăm :

— sistemul muscular, unde se desfășoară activități fiziologice importante ca tonusul și frisonul termoreglator, contracțiile active, voluntare ;

— ficatul — sediul unor procese metabolice producătoare de energie ;

— rinichiul, pulmonul și alte viscere — „participante“ — ca mici furnizori de căldură.

Procesele termolitice. Căldura corporală este

* Ansamblul mecanismelor nervoase și endocrine care controlează și coordonează procesele termogenetice și termolitice ale unui organism homeoterm, în vederea păstrării temperaturii interne la nivel relativ constant.

** Starea de confort termic a organismului homeoterm, creată de un anumit nivel al temperaturii externe, în timpul căreia se produce deconectarea mecanismelor termoreglatoare și reducerea metabolismului la o valoare minimă.

pierdută în mod normal prin patru procese fizice: radiaţie *, conducţie **, convecţie ***, şi evaporarea apei.

În apă, pierderea de căldură se face, cel mai adesea, prin conducţie, dar şi prin convecţie. Ea este puternic influenţată de temperatura acestui mediu şi de intensitatea curenţilor; cu cît temperatura apei este mai scăzută şi curenţii mai puternici, cu atît pierderea căldurii va fi mai mare. În lupta contra frigului din apă, cheltuielile energetice ale unui scufundător fără costum de protecţie pot înregistra cote maxime: circa 9 000 kcal/24 ore (cu toate că limita superioară de asimilare a tubului digestiv este de 6 000—6 500 kcal/24 ore). Aceste pierderi calorice maxime sînt întreţinute, pe de o parte, de valoarea foarte mare a căldurii specifice a apei (1,00 faţă de 0,17—0,24 cît este a aerului), iar pe de altă parte de conductibilitatea apei, de asemenea crescută (25 de ori mai mare decît a aerului).

Împotriva unor asemenea pierderi de căldură organismul scufundătorului „adoptă“ unele măsuri, dintre care mai importante sînt:

— mărirea producţiei de căldură (termogeneza) prin intensificarea reflexă a activităţii musculare,

* Transferul de căldură de la corpul mai cald la altul mai rece.

** Mecanism de pierdere a căldurii, comun tuturor corpurilor (solide, lichide, gazoase), care constă în propagarea mişcării oscilatorii crescute a moleculelor şi atomilor, care primesc energie calorică din exterior, la ceilalţi atomi ai aceluiaşi corp.

*** Mecanism de transmitere, prin curenţi, a energiei calorice de la un corp solid la unul fluid (lichid sau gaz) sau între două fluide.

în mod gradat. Într-o primă etapă se produce simpla creştere a tonusului muscular, care măreşte cu 30—50% consumul de oxigen. Dacă temperatura apei continuă să scadă şi mai mult apare contracţia muşchilor erectori ai părului (pielea de găină), tremurături şi clănţănirea dinţilor. În asemenea situaţii, omul îşi poate mări producerea de căldură, timp de mai multe ore, pînă la + 500%;

— vasoconstricţia periferică reflexă este prima reacţie la coborîrea temperaturii ambiante. Reducerea circulaţiei cutanate are ca urmare răcirea pielii, inclusiv a receptorilor la rece, care stimulaţi în continuare declanşează o şi mai intensă excitare a centrului termogenetic.

În esenţă, funcţionarea mecanismelor termogenetice şi termolitice ale procesului de termoreglare sînt condiţionate de multiplele activităţi de la nivelul sistemelor circulator, respirator, excretor, secretor etc., sisteme riguros controlate între anumite limite termice de către sistemul nervos şi endocrin.

La om, ca şi la alte mamifere, au fost individualizaţi cu multă precizie centrii integratori termoreglatori la nivelul hipotalamusului, capabili să coordoneze activitatea energetică-oxidativă, ca şi fenomenele vasomotoare. Astfel, la nivelul hipotalamusului posterior există un complex de centri care „luptă“ împotriva răcirii corpului, pe cînd la nivelul hipotalamusului anterior acţionează centrii care coordonează „lupta“ împotriva supraîncălzirii.

Centrii hipotalamici pot fi excitaţi atît pe cale reflexă, prin intermediul aferenţelor cu originea în termoreceptorii pielii şi ai mucoaselor, cît şi direct, pe calea temperaturii sîngelui.

Alte segmente nervoase implicate în procesul termoreglator sînt măduva spinării, bulbul rahidian, puntea lui Varolio și cortexul cerebral.

În homeostazia termică însă un rol de seamă îl joacă și unii hormoni al glandelor endocrine. De exemplu, hormonii tiroidieni (tiroxina și triiodotironina), ca și cei medulosuprarenali (adrenalina și noradrenalina) provoacă creșteri ale metabolismului energetic (efect calorigen). Alți hormoni, cum ar fi cei glucocorticoizi (hidrocortizonul), măresc rezistența organismului la acțiunea diferiților factori stressanți, inclusiv a celor termici.

S-a mai constatat, de asemenea, că sub acțiunea stressului de frig, lobul anterior al hipofizei produce mai mult hormon adrenocorticotrop (ACTH), prin intervenția căruia suprarenalele secretă o cantitate mai mare de glucocorticoizi.

Cu privire la eficiența acestor mecanisme trebuie însă spus că, în cazul scufundătorilor privați de o izolare termică corespunzătoare, aceste mecanisme nervoase și endocrine sînt ușor depășite. Solicitarea intensă a procesului termoreglator prin expunerea organismului la temperaturi ale apei scăzute și foarte scăzute (5° și —3°C) se soldează cel mai adesea (în funcție și de timpul de expunere, echipament, antrenament etc.) cu pierderea cunoștinței, hipotermie, congelare și moarte.

De obicei, la om, moartea survine cînd temperatura rectală este în jur de 20°—25°C, datorită tulburărilor în activitatea sistemului cardiovascular (fibrilație ventriculară, scădere a tensiunii arteriale) și a celui respirator (reducerea și încetarea mișcărilor respiratorii).

În privința limitelor extreme ale suportabilității temperaturii apei reci, de către un înotător dezbrăcat, literatura de specialitate menționează următoarele :

— 5—10 minute în apa de sub gheață (—3—4°C) (în apele polare) ;

— limita inferioară pe care o pot suporta cei mai mulți înotători bărbați (dezbrăcați) este cuprinsă între 11—14°C. La 11°C, de exemplu, înotul este întrerupt din cauza imobilizării picioarelor și mîinilor, menținerea în apă în continuare ducînd la apariția stării de șoc.

Pentru femeile scufundătoare din Japonia și Coreea problema pierderilor calorice nu constituie o problemă așa de „gravă" ca în cazul bărbaților : ele sînt mult mai rezistente la frig și foarte adesea plonjează în apele Oceanului Pacific, iarna, cînd temperatura apei este sub 10°C sau chiar sub 5°C, purtînd numai un costum obișnuit de baie. Această rezistență ieșită din comun este pusă, în primul rînd, pe seama antrenamentului (de la 11 și pînă la 60 ani practică imersia) și în al doilea rînd pe stratul de grăsime subcutanat, mai dezvoltat decît la bărbați.

Ce se recomandă după ieșirea dintr-o asemenea apă rece ?

Unii, dintre cei care ies din apă, se înfășoară în pături, dar eficiența acestora nu ajută prea mult organismul. Băuturile calde și mai ales alcoolul rămîn aproape fără efect.

Cel mai bun mijloc de a recupera repede căldura este să faci o baie fierbinte sau să aprinzi pe plajă două focuri și să te prăjești între ele.

Tot astfel, obiceiul de a unge pielea cu grăsime înainte de a pătrunde în apă rece nu-și are rostul. Grăsimea nu aderă de piele ; ea se dezlipește numaidecît, lăsînd doar o pojghiță uleioasă, care, în

loc să-l ocrotească pe înotător, nu face decît să-i sporească pierderea caloriilor.

Împotriva frigului — factor de agresiune — față de care organismul scufundătorului nu dispune de posibilități naturale de apărare s-au găsit unele soluții în vederea evitării pierderilor de căldură, în apele reci.

Dealtfel, această problemă constituie, la ora actuală, una din preocupările de bază ale omului în lupta pentru cucerirea adîncurilor.

Pentru scufundări la adîncimi relativ mici (50—60 m), în apele a căror temperatură este mai mică decît 18°C se preconizează folosirea costumelor cu o mare capacitate termoizolatoare, cum sînt cele de neopren.

Un costum de neopren este un fel de „haină umedă", deoarece între el și piele pătrunde un strat de apă care va lua temperatura corpului sporind astfel termoizolarea costumului.

În imersiile prelungite în ape reci și la peste 70—80 m se folosește încă așa-numitul costum „cu volum constant". Cu ajutorul unui asemenea costum corpul scufundătorului este complet izolat de mediul exterior. Între piele și acesta se interpune unul de lînă — excelent izolator împotriva frigului. Volumul constant de aer în costum este menținut prin „pomparea", în interiorul lui, a unei cantități din aerul expirat, cu ajutorul măștii interioare. Supapele pentru „eșapamentul" aerului sînt instalate la glezne și la cap ; cu ajutorul lor se menține stabilitatea scufundătorului în orice poziție și la orice adîncime. Cu ajutorul unui astfel de costum se poate lucra un timp oarecare (peste o oră) în apele Groenlandei.

Eficiența costumelor de cauciuc cu volum constant este serios afectată atunci cînd scufundătorul

folosește pentru respirație amestecuri sintetice pe bază de heliu și oxigen (heliox) ; conductibilitatea termică a heliului este foarte mare (de șapte ori mai mare ca a aerului comprimat) și ca atare pierderea cutanată și pulmonară de căldură nu poate fi echilibrată de procesele termogenetice.

O variantă a costumului cu volum constant este costumul etanș larg, care conține circa 30—40 l apă caldă. Încălzirea apei se face cu ajutorul unei rezistențe electrice alimentată de o serie de baterii electrice. Reglarea volumului de apă caldă se face cu ajutorul unor supape de suprapresiune.

Cine poate practica imersia? Cercetări moderne efectuate pe oameni în condițiile scufundării simulate și reale, la mari adîncimi, ca dealtfel și în timpul lucrului subacvatic, au scos în evidență faptul că organismul scufundătorului este supus unor situații dificile, dintre care cele mai importante sînt : efortul respirator susținut ; variațiile presionale bruște ale gazelor respiratorii ; saturația țesuturilor cu gaz inert și apoi desaturarea lor ; deperdiția calorică crescută ; frigul excesiv ; starea de imponderabilitate etc.

Ca urmare a apariției acestor factori, ajustarea și acordarea principalelor funcții ale organismului la noile condiții de viață în care acesta trebuie să trăiască reprezintă pentru el un veritabil factor de agresiune, un adevărat stress.

De aici și întrebarea : cine poate practica imersia ?

De la început trebuie spus că majoritatea dovezilor experimentale acumulate pînă în prezent, cu privire la posibilitățile de adaptare a organismului uman la condițiile de hiperbarism, se referă numai la indivizi perfect sănătoși.

Cu toate progresele înregistrate la ora actuală în crearea a nenumărate aparate propulsoare (scuter subacvatic, acvaplan, minisubmarin etc.), aparate care să faciliteze efortul în timpul deplasării și lucrului sub apă, avizul de practicare a scufundării este dat numai cu acordul personalului medical de specialitate.

Admițînd faptul că regulile de securitate ale scufundării sînt respectate întocmai, se poate afirma că orice adult tînăr și sănătos poate practica cu succes imersia de tip amator sau profesional.

Sînt, de asemenea, supuși controlului, în vederea obținerii avizului de practicare a scufundării, adolescenții și persoanele trecute de vîrsta de 50 de ani, după cum se interzic asemenea practici adolescenților, adulților tineri și în vîrstă care prezintă unele afecțiuni neurologice, cardiovasculare, respiratorii etc.

La un regim temporar de suprimare a imersiei sînt supuși și scafandrii amatori și profesioniști care suferă sau au suferit de unele boli ce le-au redus simțitor „elasticitatea" funcțională a unor sisteme sau a întregului organism.

Pentru practicarea imersiei prezintă o deosebită importanță și faptul dacă femeile sînt apte pentru efectuarea unor asemenea activități. Grupul de scufundătoare profesioniste din Extremul Orient și S.U.A. au confirmat răspunsul pozitiv la această problemă. Dintre elementele spectaculoase ale programului de cercetări submarine al lui „Tektite II" a făcut parte și ocuparea unei locuințe submarine, timp de 14 zile, de cinci femei americane, de fapt prima echipă de acvanaute din lume.

La scufundătoarele profesioniste „Amas" din Japonia și Coreea, chiar unele perioade fiziologice caracteristice ca sarcina și alte îndatoriri de mamă, nu constituie obstacole în activitatea lor de imersie ; ele coboară în apă pînă în ziua nașterii și revin în mare destul de repede de la acest act, alăptînd copilul între două scufundări.

Pentru majoritatea femeilor imersia nu necesită o forță musculară deosebită, ci mai degrabă se cere din partea lor suplețe și rezistență la frig, atribute pe care acestea le manifestă din plin.

8. *Unele performanțe ale tehnologiei de imersie*

Oricît de însemnate au fost progresele obținute în cercetarea mediului submarin, de la suprafață, prin punerea la punct a unei tehnologii și construcții maritime specifice, cea mai spectaculoasă realizare a oceanografiei moderne rămîne pătrunderea directă sau indirectă a omului în universul lichid.

Primul om care s-a încumetat să coboare la adîncuri mari, în batisfere, a fost biologul american W i l l i a m B e e b e. Batisfera lui era de fapt o cabină de observație în formă de sferă, confecționată din fontă, susținută de un cablu, și incapabilă de a se ridica singură la suprafață, dar capabilă de a coborî pînă la o adîncime de 1 000 m.

La 6 iunie 1930 B e e b e, împreună cu inginerul O t i s B a r t o n, coboară cu cabina la 240, 300, 425 și, respectiv, 906 m adîncime. Puternic impresionat și încîntat de priveliștile admirate în adîncul oceanului, B e e b e lansează o chemare care va stimula inițiativele contemporanilor : „Înainte de a muri, faceți în așa fel încît să împrumutați, să cumpărați sau să fabricați un aparat care să vă în-

găduie a arunca măcar o ochiadă acestei lumi nemaipomenite! Față de acest contact direct, cărțile, acvariile sau vapoarele cu fund de sticlă, valorează tot atît cît un mers al trenurilor în comparație cu călătoria însăși".

O variantă perfecționată a batisferei lui W. Beebe — batiscaful — a fost realizată de renumitul om de știință elvețian Auguste Piccard. Cabina batiscafului său era confecționată din oțel, de formă rotundă și capabilă să reziste unei presiuni de 1 600 atm. În anul 1948, Piccard, cu ajutorul acestui batiscaf atinge adîncimea de 1 380 m, pentru ca mai apoi, în 1953, împreună cu fiul său Jacques să coboare cu batiscaful „Trieste" pînă la adîncimea de 3 150 m, lîngă insula Capri. Cu același aparat, Jacques explorează una din cele mai mari adîncimi ale Oceanului Pacific, Groapa Marianelor de 10 912 m adîncime (la 23 ianuarie 1960).

Această dată memorabilă marchează încheierea unei ere și începutul alteia, aceea de explorare sistematică și totală a supercontinentului albastru.

În anul 1961, Jacques-Yves Cousteau, de la Institutul Oceanografic din Monaco realizează la Nisa casa submarină „Laboratorul-geamandură", cu ajutorul căruia doi acvanauți au staționat timp de o săptămînă la o adîncime de 50 m, pentru ca în 1963, 55 de cercetători să lucreze timp de o lună de zile în acest laborator, la 85 m adîncime, în Marea Roșie.

Încă din 1950, vasul-laborator „Calypso", condus de același Cousteau, explorează apele calde ale Mării Roșii, Golful Persic și Oceanul Indian, realizînd — grație unor plonjori „scafandri autonomi" — admirabile filme („Lumea tăcerii") și nenumărate fotografii colorate.

În 1970 începe unul dintre cele mai îndrăznețe programe de cercetări submarine — programul „Tektite II" — cînd cinci acvanauți americani coboară într-o locuință submarină plasată la 16 m adîncime, pentru o durată de 14—20 zile.

În anul 1973 are loc prima expediție niponă în domeniul activității practice în mediul acvatic. O cabină de oțel cu o greutate de 70 t, „Seatopia", găzduiește patru acvanauți timp de 78 ore la adîncimea de 30 m și apoi la 100 m adîncime.

Nu mai puțin spectaculoase sînt și realizările primelor batisfere din sticlă acrilică (1972), capabile să exploreze fauna și flora subacvatică de pînă la 200 m.

Paralel cu progresele realizate în cucerirea adîncurilor, cu ajutorul „tehnologiei scufundării", au avut și au loc interesante experiențe de hiperbarism, care privesc comportamentul unor animale (cobai, șobolani, iepuri, porci, capre, maimuțe etc.) și mai ales a omului. Sînt semnificative în acest sens cercetările de compresie și decompresie în barocameră din seria „Sagittarie II" (1974), cînd un echipaj format din două persoane a fost supus, timp de 50 ore, compresiei continue, 100 ore „staționării" la 500 m adîncime și 192 ore, decompresiei.

Alte experimente („Physalie" VI, 1974) efectuate tot de echipaje din doi indivizi realizează performanțe deosebite : o compresie de șapte zile, o adîncime maximă de 610 m și o decompresie care a durat zece zile.

În privința experimentării de scufundări reale în mare, echipajele COMEX (1977) au atins adîncimea de 500 m. Aceleași echipaje au efectuat scufundări reale în apele reci ale Labradorului.

* * *

Avîntul luat de explorările subacvatice, perspectivele pe care le oferă studierea continentului albastru și necesitatea creșterii eficienței eforturilor depuse în acest domeniu ridică problema coordonării și planificării lor judicioase. În acest sens a fost înființată *Comisia internațională pentru exploatarea științifică a Mării Mediterane*, a cărei membră este și România, iar UNESCO a organizat *Deceniul hidrologic internațional de explorări oceanice* (1970—1980), program care a reprezentat un pas important spre înzestrarea națiunilor lumii cu o bază de cunoștințe fundamentale, pentru o mai bună utilizare a oceanelor.

OMUL LA ALTITUDINE

Există mai multe împrejurări în care omul a depășit limitele obișnuite de viețuire, de la suprafața pămîntului. Multe dintre acestea sînt cele care se referă la membrii unor expediții științifice și alpiniști care au escaladat „vîrfurile fără zei" ale „acoperișului lumii" ; altele, sînt cele în care anumite populații umane au ocupat definitiv platourile și munții înalți și, în fine, o altă categorie, în care omul s-a desprins cu ajutorul aparatelor de zbor de la sol și a pătruns în tainele atmosferei. În foarte multe din aceste situații, organismul uman a avut și are de suferit. Trecerea rapidă de la înălțimi reduse la înălțimi mari poate induce solicitări funcționale importante, datorită scăderii presiunii atmosferice și tensiunii parțiale a oxigenului, funcții complexe fiind implicate în încercările de echilibrare : circulația, respirația, glandele endocrine, sistemul nervos, metabolismul celular etc. În asemenea împrejurări survin dezechilibre, tulburări și chiar accidente grave, pînă la imposibilitatea de redresare și... decesul. Nivelul la care se instalează aceste tulburări este variabil, în raport cu capaci-

tatea de rezistență și cu antrenamentul, la unele persoane tulburările putînd să apară începînd chiar de la 1 500 m, iar alții tolerînd chiar altitudini de peste 8 000 m.

Există astăzi în lume peste 17 milioane de oameni care locuiesc la altitudine de peste 3 000 m. Cea mai mare altitudine la care trăiesc grupuri de populații este în jur de 5 000 m. Așa este cazul băștinașilor din Podișul Tibetan, din munții Himalaia și Anzii Centrali, din Peru și Mexic.

Multe din stațiunile alpine și laboratoarele de cercetare științifică ocupă acum înălțimi cuprinse între 3 700 și 6 500 m.

De asemenea, în peste 75 de puncte de pe suprafața pămîntului, unele căi ferate ating înălțimea de 3 500 și 4 950 m ; 6 universități funcționează la o altitudine cuprinsă între 2 280 și 4 000 m ; un aeroport — Bolivia — este cel mai „înalt" din lume (la peste 3 850 m) ș.a.m.d.

Pînă unde oare se poate extinde „condiția umană" în atmosferă ? După eforturi apreciabile, oamenii de știință și-au dat seama că organismul uman anevoie se va putea adapta condițiilor atmosferice de la mari altitudini și că performanțele atinse sînt cu totul neînsemnate față de înălțimea la care se întinde atmosfera. Dealtfel, însăși această înălțime cu greu poate fi fixată, întrucît pe măsură ce depărtarea față de pămînt crește, atmosfera se tot rarefiază, tinzînd ca la altitudini considerabile, printr-o tranziție lentă, să se confunde cu însuși vidul interplanetar.

I. UNELE REACȚII FIZIOLOGICE ALE ORGANISMULUI UMAN ÎN TIMPUL ASCENSIUNILOR ALPINE

A. Atmosfera, compoziția atmosferei și presiunea atmosferică

Atmosfera este învelișul gazos al planetei noastre, cu origine în „materia cosmică", din care s-a format și pămîntul. Ca mediu gazos, atmosfera este menținută ca un manșon în jurul pămîntului, datorită gravitației terestre.

Dat fiind că atmosfera înconjoară pămîntul și că densitatea, ca și presiunea ei, scad în progresie geometrică atunci cînd înălțimea crește în progresie aritmetică, rezultă că atmosfera trebuie să se prezinte sub forma unor straturi concentrice și că forma ei este a unui elipsoid mult mai turtit decît pămîntul.

În urma analizelor chimice făcute asupra probelor de aer luate din regiuni geografice cît mai diferite, atît din imediata vecinătate a solului, cît și de la înălțimi destul de mari (pînă la 50—100 km), s-a ajuns la concluzia generală că atmosfera are peste tot aceeași compoziție chimică.

După *Organizația meteorologică mondială*, în compoziția aerului atmosferic intră componentele indicate în tabelul 2.

Structura pe verticală a atmosferei. După repartiția pe verticală a temperaturii aerului, în atmosferă se delimitează următoarele straturi :

— troposfera (pornind de la sol pînă la înălțimea de 8—18 km în funcție de latitudine) ;

— stratosfera (de la 18 km pînă la 35—45 km) ;

Tabelul 2

(Compoziția aerului atmosferic)

Gaze	Procente de volum	Gaze	Procente de volum
Azot (N_2)	78,09	Iod (I_2)	$0,3—4.10^{-8}$
Oxigen (O_2)	20,95	Metan (CH_4)	$2,2.10^{-4}$
Bioxid de carbon (CO_2)	0,03	Oxid de azot (N_2O)	$5,0.10^{-5}$
Neon (Ne)	$1,8.10^{-3}$	Alte componente:	
Heliu (He)	$5,24.10^{-4}$	Bioxid de sulf (SO_2)	urme
Kripton (Kr)	$1,0.10^{-4}$	Bioxid de azot (NO_2)	urme
Hidrogen (H)	$5,0.10^{-5}$	Oxid de carbon (CO)	urme
Xenon (Xe)	$8,0.10^{-6}$	Clorură de sodiu (NaCl)	urme
Ozon (O_3)	$1,0.10^{-6}$	Amoniac (NH_3)	urme
Radon (Rd)	$6,0.10^{-18}$		

— mezosfera (de la 35—45 km pînă la 80—100 km);

— termosfera (de la 80—100 km pînă la 1 000—1 200 km);

— exosfera (de la 1 000—1 200 km pînă la 3 000 km).

Între aceste straturi se află zone de tranziție, cu grosimi variabile (de la cîteva sute de metri pînă la cîțiva km). Aceste zone se numesc tropopauză, stratopauză, mezopauză, termopauză.

Ultimele cercetări au mai scos în evidență, la delimitarea caracteristicilor atmosferei, o împărțire în mare a acesteia și anume:

— omosfera (de la suprafața pămîntului pînă la circa 100 km înălțime — strat foarte omogen);

— eterosfera (de la limita superioară a omosferei pînă la 2 000 km înălțime — strat foarte eterogen);

— exosfera (de la 2 000 km pînă la limite superioare imprecis stabilite — atmosfera extraterestră).

Scurtă caracterizare a straturilor atmosferice

Troposfera. Una dintre cele mai importante proprietăți ale troposferei este scăderea temperaturii cu înălțimea și anume, pentru fiecare sută de metri, aceasta scade în medie cu 0,6°C. Sînt și cîteva excepții de la această repartiție a temperaturii cu înălțimea: *izotermiile* (temperatura rămîne constantă cu înălțimea) și *inversiunile* de temperatură, cînd temperatura aerului crește cu înălțimea.

Sub acțiunea încălzirii sau răcirii scoarței terestre, în troposferă iau naștere cele mai complicate mișcări ale aerului atmosferic. Aici se află concentrată 75% din masa atmosferei și 90% din întreaga cantitate de vapori de apă din atmosferă.

În esență, acest strat este sediul celor mai importante fenomene meteorologice (ploi, formarea norilor, vînt etc.).

Tropopauza. Este un strat de tranziție între troposferă și stratosferă, grosimea acestui strat fiind în genere de 1—2 km. Temperatura aerului este cuprinsă între —50 și —60°C, la latitudini polare și între —70 și —80°C, la latitudini tropicale și ecuatoriale. În tropopauză se formează totdeauna curenți de aer foarte puternici, a căror viteză poate atinge 200 m/s.

Stratosfera este cea de a doua regiune importantă a atmosferei. În părțile ei inferioare temperatura se consideră a fi constantă și, în medie, egală

cu —56,5°C. În păturile mai înalte ale stratosferei, la circa 25 km, acolo unde presiunea abia mai are o valoare de 10 milibari, temperatura înregistrează valori de circa 0°C.

Prezența vaporilor de apă este extrem de redusă în această pătură de aer. La înălțimea de 20—25 km pot apare totuși așa-numiții „nori sidefii" irizați, de culorile curcubeului. Aceștia sînt formați din cristale fine de gheață.

Păturile joase ale stratosferei sînt puternic perturbate de curenți rapizi.

Mezosfera. Este un strat în care temperatura variază cînd într-un sens, cînd în altul, trecînd de la valori negative mult scăzute, în păturile inferioare, la valori pozitive de 60—70°C, în jurul înălțimii de 50—55 km și, revenind din nou la valori negative cuprinse între —80 și —110°C, în păturile superioare (80—100 km).

Ca urmare a acestor diferențe de temperatură apar curenții de convecție și amestecul turbulent. Tot în partea inferioară a acestei zone apar și norii luminoși nocturni, cu aspect argintiu, care pot fi văzuți de pe pămînt numai în amurg.

Termosfera. Este separată de mezosferă prin mezopauză. Are temperatura în părțile inferioare cuprinsă între 50 și 150°C, iar la nivelele superioare, între 500 și 2 000°C.

Termosferei îi este caracteristic și fenomenul de ionizare. Acțiunea de ionizare se datorește radiațiilor X, ultraviolete și corpusculare emise de soare. Sub bombardamentul lor, moleculele și atomii gazelor rarefiate de la aceste înălțimi pierd electroni și se transformă în ioni pozitivi. Electronii rezultați pot să rămînă liberi o bună bucată de vreme sau pot să se grefeze pe alte molecule sau atomi neutri, dînd naștere ionilor negativi ; în sfîrșit, se pot uni

cu ioni pozitivi, recombinînd molecula sau atomul neutru.

La nivelul acestui strat au loc și fenomenele numite aurorele polare.

Exosfera este poarta prin care atmosfera comunică cu exteriorul și cosmosul cu planeta noastră.

Aici densitatea aerului devine egală cu cea pe care o prezintă materia din spațiul interplanetar. În exosferă rarefierea aerului ajunge atît de înaintată, încît numărul moleculelor devine extrem de mic și distanța dintre ele extrem de mare.

Presiunea atmosferică. Faptul că aerul prezintă o greutate (1 l de aer în condiții normale cîntărește 1,293 gf) face ca în atmosferă straturile superioare de aer să apese asupra celor inferioare, comprimîndu-le.

În esență, presiunea atmosferică (sau a aerului) reprezintă greutatea coloanei de aer cu secțiunea de 1 cm^2 și cu înălțimea măsurată de la nivelul respectiv pînă la limita superioară a atmosferei.

Efectul greutății aerului pe suprafața pămîntului se traduce prin presiunea atmosferică.

Presiunea aerului este deci rezultatul „bombardamentului" moleculelor de aer pe suprafața corpului cu care aerul vine în contact. Pentru măsurarea presiunii atmosferice, în practica meteorologică, se folosesc două unități de măsură și anume : torrii și barii.

De obicei, aparatele pentru măsurarea presiunii sînt gradate, în milimetri coloană de mercur, unitate care, în amintirea lui *Torricell* s-a numit *torr*.

760 mm coloană de mercur (col. Hg) corespund la 1013,3 mbar (milibar) sau 1,013 bar sau 1,033 atmosfere.

Presiunea atmosferică nu este o mărime constantă. Ea variază cu altitudinea, densitatea și temperatura aerului atmosferic, cu sezonul etc.

Variația presiunii atmosferice în funcție de temperatură și densitatea aerului, precum și de înălțime este înfățișată în tabelul 3.

Tabelul 3

Variațiile presiunii atmosferice

Înălțimea (m)	Temperatura (°C)	Presiune torr	Presiune mbar	Densitate (kg/m³)
0	+15,0	760	1013,2	1,3250
1 000	+ 8,5	674,1	898,8	1,1117
2 000	+ 2,0	596,2	794,9	1,0064
3 000	— 4,5	525,8	701,0	0,9091
4 000	— 11,5	462,3	616,4	0,8190
5 000	— 17,5	405,1	540,1	0,7360
6 000	— 24,0	353,8	471,7	0,6595
7 000	— 30,5	307,9	410,4	0,5894
8 000	— 37,0	266,9	355,8	0,5250
10 000	— 50,0	198,2	264,3	0,4125
12 000	— 56,5	145,0	193,3	0,3107
14 000	— 56,5	106,0	141,3	0,2266
15 000	— 56,5	90,6	120,8	0,1936

Repartiția presiunii atmosferice pe suprafața pămîntului

Din măsurătorile sistematice ale presiunii atmosferice s-a ajuns la concluzia că zonele de joasă presiune alternează cu cele cu presiune ridicată (fig. nr. 4). Astfel, în regiunile ecuatoriale, presiunea prezintă valori minime, apoi la sud și la nord de această regiune, în dreptul latitudinilor de 30—35°, există așa-numitul brîu de presiune ridicată.

În regiunile subpolare (60—70° latitudine) presiunea prezintă scăderi accentuate, mai ales în

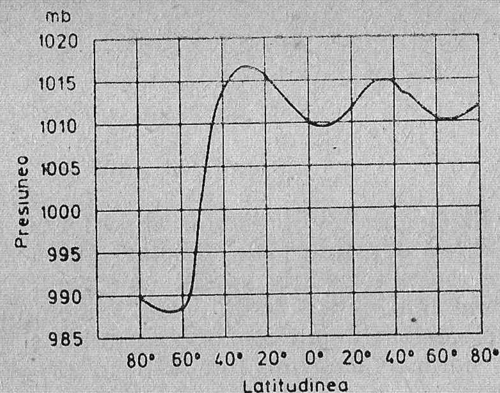


Fig. 4 Variațiile presiunii atmosferice cu latitudinea.

emisfera sudică, după care, în zonele polare, presiunea crește din nou.

Asupra organismului uman asemenea variații, corelate în special cu altitudinea, exercită, după cum vom vedea, multiple efecte, dintre care cele mai importante sînt cele de ordin mecanic, biofizic și biochimic.

B. Expediții științifice și unele încercări de cucerire a înălțimilor maxime ale globului

Asaltul decisiv al celor mai înalte piscuri (Mont-Blanc — 4 810 m ; Kilimanjaro — 5 895 m ; Aconcagua — 6 959 m ; Mc Kinley — 6 193 m și încă 14 vîrfuri de peste 8 000 m, localizate în Himalaia și Karakorum) începe în anul 1786, cînd medicul Michel Paccard și vînătorul Jacques Balmat escaladează cel mai înalt pisc al Europei — Mont-Blanc-ul.

Asupra munților Himalaia și Karakorum (Asia) și-au îndreptat atenția nenumărați exploratori, dar

zecile de încercări întreprinse în secolul trecut, de a cuceri marile înălţimi ale acestor sisteme muntoase, au dat greş. Lupta cu muntele a fost extrem de dură şi multe vieţi au pierit în confruntarea cu vitregiile marilor înălţimi.

După ce P. B e r t publică, în anul 1878, rezultatele experienţelor sale de laborator cu privire la efectele fiziologice ale presiunii atmosferice asupra omului, diferite grupuri de fiziologi şi medici au făcut mai multe expediţii ascensionale pentru a studia efectele tensiunilor scăzute ale oxigenului asupra principalelor funcţii ale organismului şi pentru a stabili natura factorilor implicaţi în procesul de aclimatizare *.

Echipat cu microscop şi lame de numărare a globulelor roşii şi albe, V i a u l t (1890) cutreieră o bună parte din Anzii peruvieni şi bolivieni, în scopul stabilirii limitelor de variaţie a elementelor

---

* Strămutarea organismului în zone sau condiţii de climă mult diferite de cele cu care s-a obişnuit în decursul ontogeniei (dezvoltării individuale) îl supune pe acesta la schimbări fiziologice importante, de care nu sînt capabili toţi indivizii, cei mai puţin aclimatizabili putînd să se îmbolnăvească şi chiar să moară.

Aclimatizarea reprezintă un complex de schimbări fiziologice reversibile care au loc la trecerea organismului în altă zonă de climă şi care au ca rezultat „adaptarea" nivelului metabolic la noile condiţii.

Aclimatizarea poate să îmbrace forma de obişnuinţă, care reprezintă de fapt numai o creştere a nivelului de răspuns reflex prin contribuţie de natură cerebrală, datorită creşterii toleranţei faţă de stimuli, care altădată puteau să fie supărători.

În mecanismul de aclimatizare intervin organele senzoriale, care analizează condiţiile mediului exterior, precum şi sistemul de termoreglare, în vederea realizării unui comportament corespunzător. Sistemul circulator, metabolismul, glandele endocrine şi sistemul nervos central joacă, de asemenea, un rol esenţial în fenomenele de aclimatizare.

figurate, la persoane care urcau ocazional pe aceşti munţi şi la populaţiile băştinaşe de acolo.

În Alpi, la o altitudine de 2 864 m şi apoi 4 560 m, M o s s o (1894) măsoară valoarea unor parametri fiziologici legaţi de respiraţie şi consumul de energie, în timpul efortului muscular.

O expediţie anglo-americană, din care au făcut parte H a l d a n e, D o u g l a s, H e n d e r s o n şi S c h n e i d e r, a urcat la Pike's Peak (4 300 m), în Colorado, pentru a urmări efectele fiziologice pe care le exercită ascensiunea la altitudini mari asupra organismului uman.

În 1921, B a r c r o f t conduce, de asemenea, o expediţie la Cerro de Pasco (4 260 m), în Anzii peruvieni, unde întreprinde multiple cercetări de fiziologia aclimatizării, atît pe membrii expediţiei, cît şi pe locuitorii de aici.

În continuare, pînă în anul 1935, se dă o bătălie decisivă pentru asaltul munţilor Himalaia şi Karakorum. În 1922, englezii urcă pînă la 8 326 m, iar în 1923, într-o nouă expediţie, pînă la 8 572 m, însă doi membri ai expediţiei îşi pierd viaţa : supravieţuieşte numai şeful expediţiei, E. F. N o r t o n.

Aceeaşi performanţă este realizată şi de cîteva expediţii germane, care în 1929 au escaladat înălţimea de 8 598 m, tot în Himalaia.

Cercetările de fiziologia şi biochimia aclimatizării omului la presiuni barometrice scăzute progresează evident cu ocazia expediţiei internaţionale în Anzii chilieni, în anul 1935. Oameni de ştiinţă din domeniul fiziologiei, biochimiei, psihologiei şi zoologiei au adus contribuţii importante fiziologiei comportamentale, măsurării presiunii arteriale şi venoase, măsurării volumului sanguin, vitezei sîngelui, capacităţii vitale etc., la 5 nivele de altitu-

dine (între 2 810 m și 6 140 m), timp de 14 săptămîni.

Rezultatele remarcabile ale acestei expediții din Chile au constituit un minunat exemplu de ceea ce înseamnă lucrul în echipă în condițiile dificile ale marilor altitudini.

Experimentator desăvîrșit, P u g h, în urma ascensiunilor pe care le-a condus în Himalaia (1951, 1952 și 1953), aduce contribuții fundamentale la progresul științei despre aclimatizare. El a folosit tehnici noi pentru măsurarea ventilației pulmonare, în condiții de repaus și efort fizic, la 5 000 și 6 000 m. Obține, alături de W a r d, informații unice asupra chimismului aerului respirator, în repaus și în timpul travaliului intens, la 6 500 m.

Echipa științifică condusă de P u g h a proiectat sau modificat instrumente și aparatură pentru analiza gazelor respiratorii din pulmon și sînge ; a folosit aparate electronice miniaturizate pentru înregistrarea electrocardiogramei și electroencefalogramei în repaus, pe bicicleta ergometrică și în timpul urcușului.

La 22 mai 1953, dată memorabilă în istoria descoperirilor geografice, este cucerit vîrful Ciomolungma (Everest), — cea mai înaltă cotă a litosferei (8 848 m) — de către membrii expediției britanice E. H i l l a r y și T e n z i n g, conduși de J o h n H u n t.

Victoria obținută asupra Everestului a fost doar începutul, deoarece el, ca și ceilalți coloși asiatici, au continuat și continuă să fascineze și să atragă cu „lumea" lor de gheață.

În 1954 este cucerit piscul Ghorgori, 8 611 m, din Karakorum, al doilea ca înălțime din lume, de către alpiniștii italieni.

În 1956, o expediție austriacă cucerește, pentru a doua oară în istorie, Everestul, iar în 1960 se înscrie o nouă premieră în istoria cuceririi Everestului : alpiniștii chinezi reeditează performanța englezilor din 1953.

Acum are loc cea de-a doua mare expediție științifică (1960—1961) condusă de E. H i l l a r y, expediție care depășește cu mult angajamentele asumate. Grupul celor 11 oameni de știință și alpiniști au ocupat și populat tabăra de iarnă de pe ghețarul Ming Be, la sud de Everest (5 800 m). Camerele și laboratoarele de cercetare erau adăpostite de un cort cilindric confecționat din placaj, acoperit cu foi de aluminiu și căptușit cu material plastic. Temperatura „confortabilă" era menținută pe întreg parcursul iernii cu ajutorul unei sobe cu petrol. Un „generator" acționat de vînt și suplimentat cu acumulatori asigura iluminatul.

Au fost investigate, în această perioadă, multiple funcții ale organismului privind sistemul respirator, cardio-circulator, metabolismul și nutriția, unele reacții de la nivelul sistemului nervos, excreția etc.

Pe drumul trasat de aceste expediții urmează alte escaladări ale masivului Himalaia, pentru ca în 1970, 39 de alpiniști japonezi să pornească spre culmea Everestului. Printre ei, o femeie, prima participantă la o expediție în Himalaia. Piscul este însă „atins" numai de cîțiva alpiniști de elită, mulți din grupul celor 39 dispărînd.

A șaptea „cucerire" a Everestului a avut loc în mai 1973, performanță realizată de o echipă de alpiniști italieni.

Au urmat alte succese în escaladarea și cucerirea acestui masiv. Cu prilejul celei de a 20-a aniversări a primei cuceriri a Everestului s-a făcut un

bilanţ gen „zi a amintirilor", la o altitudine de 2 000 m în Himalaia, unde au participat mulţi dintre faimoşii „îmblînzitori" ai piscului.

*

* *

Importanta contribuţie adusă de membrii expediţiilor montane, prin bogatele informaţii de ordin fiziologic, medical şi psihologic a permis stabilirea limitelor şi condiţiilor adaptabilităţii la mari altitudini, factorii care pot mări gradul de adaptabilitate, precum şi nocivitatea unor procese legate de munca fizică intensă şi muncă cu solicitare predominant nervoasă.

Progresele moderne din ultimii ani în domeniul aclimatizării omului la aceste altitudini reflectă, sub raport aplicativ, cuceririle fundamentale ale fiziologiei moderne, care, cu aparatura electronică de înaltă tehnicitate (cu care sînt dotate numeroasele laboratoare montane), va permite, în scurt timp, descifrarea complexului tablou al marilor reacţii de răspuns al organismului în asemenea condiţii.

C. **Limite şi răspunsuri adecvate în timpul aclimatizării omului la altitudine**

Se cunoaşte bine faptul că, cel puţin pînă la 100 km altitudine, aerul prezintă o compoziţie neschimbată. Pînă în momentul de faţă nu s-a putut pune în evidenţă prin nici un mijloc vreo modificare sensibilă a concentraţiei vreunuia din constituenţii permanenţi ai atmosferei. Astfel, cantitatea de azot rămîne proporţional neschimbată. Proporţia de heliu, neon şi argon faţă de cea de azot rămîne, de

asemenea, aceeaşi ca la sol. Oxigenul se păstrează şi el aproape între aceleaşi limite ca în vecinătatea pămîntului. Dar atunci, ne întrebăm, de ce alpiniştii sau persoanele care urcă ocazional pe munţi mai înalţi se plîng de lipsă de oxigen ? Adevărul este că nu atît lipsa de oxigen este cauza, cît scăderea presiunii atmosferice şi odată cu ea şi a presiunii parţiale a oxigenului. În realitate, la altitudini corespunzătoare celor mai înalte vîrfuri de munţi, cantitatea de oxigen este totuşi suficientă, numai că, din cauza presiunii reduse, el nu poate pătrunde prin pereţii alveolelor pulmonare decît în cantităţi mici, ceea ce face ca organismul să se resimtă şi omul să încerce senzaţia „setei de oxigen". Dacă, de exemplu, barometrul înregistrează o presiune de 600 mm col. Hg, corespunzătoare înălţimii de circa 2 000 m, presiunea oxigenului este de 20,96/100 $\times$ 600) $=$ 125,76 mm Hg.

Răul de munte, descris întîi de P. B e r t, este datorit presiunii parţiale mici a oxigenului din atmosferă şi nu presiunii barometrice scăzute.

Primele semne de deficit de oxigen apar, în mod obişnuit, la indivizii sănătoşi neaclimatizaţi, cînd urcă la o altitudine de peste 3 000 m deasupra nivelului mării. Înălţimea la care apare răul de munte variază considerabil, însă de la individ la individ, după aptitudine, după viteza cu care se face ascensiunea şi după intensitatea efortului muscular.

Înălţimea pînă la care un individ neaclimatizat se poate urca fără ajutorul unui aparat de oxigen variază între 6 500 şi 7 000 m. Urcările rapide (de exemplu cele cu avionul), peste 3 500—4 000 m, fără un dispozitiv de oxigen, sînt riscante.

Dar persoanele perfect sănătoase, antrenate şi de vîrstă medie (25—45 de ani) tolerează bine (pentru o anumită perioadă de timp) şi înălţimile mai

mari de 7 500 m. În mai multe rînduri alpiniştii au atins înălţimea de 8 000 m fără a folosi dispozitive suplimentare de aprovizionare cu oxigen.

În ultima vreme, mai toate echipele de alpinişti care au escaladat înălţimile munţilor au folosit dispozitive cu oxigen. Astfel, în anul 1953, expediţia britanicilor la înălţimea de 8 150 m a confirmat încă o dată faptul că majoritatea eşecurilor anterioare se datorau ratelor insuficinte ale fluxului de oxigen.

Avantajele folosirii unor aparate cu circuit deschis, cu un flux de oxigen de 2, 3, 4 şi 6 l O_2/minut, au permis o mai bună funcţionare a sistemului nervos şi respirator (tonus cerebral normal, somn profund şi inviorător, labilitate normală a proceselor de excitaţie şi inhibiţie corticală, evitarea dispneei etc.).

Hillary şi Tenzing, în expediţia din 1953, au folosit un aparat cu circuit deschis cu o rată a fluxului de oxigen de 3 l O_2/minut, între 7 880—8 300 m. În acest mod ei au putut „avansa" spre vîrful muntelui cu o rată de deplasare de 190 m/oră.

Fără aparat de oxigen, şi alte accesorii care cîntăreau 17 kg, cei doi alpinişti au parcurs acelaşi traseu şi între aceleaşi limite de înălţime (cu paşi foarte mici sau mergînd în genunchi) numai cu o rată de ascensiune de 76 m/oră. Aceiaşi alpinişti ajunşi pe vîrful Everest au putut „supravieţui", fără a consuma oxigen din aparate, 10 minute. După această perioadă de respirare a aerului atmosferic au fost nevoiţi să-şi pună măştile şi să inspire oxigen.

În 1959, un grup de elveţieni a atins înălţimea de 8 170 m fără a folosi vreun dispozitiv de aprovizionare cu oxigen.

Lipsa aparatelor de O_2, în timpul escaladării munţilor înalţi, la cei care se încumetă să facă acest lucru, se soldează cel mai adesea cu frecvente cazuri de tromboză cerebrală, infarct pulmonar, edem pulmonar acut şi, ca urmare, un număr apreciabil de decese.

a) **Respiraţia şi altitudinea.** Scăderea progresivă a presiunii atmosferice cu altitudinea determină apariţia fenomenului hipoxic, ca urmare a scăderii presiunii parţiale a oxigenului şi, consecutiv, a coeficientului de saturaţie cu oxigen a hemoglobinei. Relaţia dintre altitudine, presiunea barometrică, presiunea parţială a oxigenului (pO_2) din alveolele pulmonare şi gradul de saturaţie cu oxigen a hemoglobinei reiese din tabelul de mai jos.

Tabelul nr. 4

Saturaţia în O_2 a Hb în procente

Altitudinea	Presiunea barometrică în mm Hg	pO_2 din alveolele pulmonare în mm Hg	Saturaţia în O_2 a Hb la %
0	760	100	95 — 97
1 000	674	90	94
2 000	596	70	92
5 000	405	50	85
7 500	300	35	60
8 000	266	30	50

După cum se vede, saturaţia cu O_2 a hemoglobinei este aproape normală (85%), atunci cînd presiunea atmosferică nu scade sub 460 mm Hg (4 500—5 000 m), ajungînd la 50%, valoare care reprezintă limita de rezistenţă pentru om, la o presiune atmosferică de 266—270 mm Hg (8 000 m).

Aşa cum mai rezultă din acest tabel, hipoxia constituie efectul cel mai important al altitudinilor mari cu care trebuie să se confrunte alpinistul sau

cel care se încumetă să urce spre culmile montane. Efectele hipoxiei se fac simţite la nivelul organismului chiar după o staţionare de 3 luni la altitudinea de circa 5 500 m. Cum se comportă sistemul respirator faţă de aceste variaţii ale pO_2 ?

La nivelul aparatului respirator are loc o ventilaţie pulmonară crescută, care are drept urmare o aerare mai eficace a sacilor pulmonari şi o reducere a diferenţei tensiunii oxigenului dintre aerul alveolar şi cel atmosferic (din atmosferă). Ventilaţia creşte graţie acţiunii pe care o exercită tensiunea scăzută a oxigenului din sînge asupra baro- şi chemoreceptorilor sinocarotidieni şi cardiaci. Excitarea acestor receptori sporeşte frecvenţa şi profunzimea respiraţiei. Tot datorită ventilaţiei pulmonare crescute, tensiunea CO_2-ului din aerul alveolar este mai mică decît la nivelul mării. Raportul $H_2CO_3/NaHCO_3$, pe care pierderea de bioxid de carbon tinde să-l modifice, este reajustat printr-o reducere a excreţiei de acid şi de amoniac în urină, încît în final pH-ul rămîne la valori normale în sînge.

b) **Globulele roşii (hematiile), hemoglobina şi volumul sanguin.** *Numărul hematiilor*, în condiţii fiziologice, normale, la nivelul mării este de 5 000 000/mm^3 la bărbaţi şi 4 500 000/mm^3 la femei.

O creştere reală a numărului hematiilor la omul sănătos are loc în timpul ridicării la mari înălţimi, precum şi în cursul eforturilor fizice mari. În ambele cazuri, creşterea valorică a numărului de hematii se datoreşte hipoxiei, care face ca pO_2 din sînge să fie scăzută. Mai precis, această creştere se face prin două mecanisme :

— prin contracţia splinei, care este un adevărat depozit de hematii ;

— prin stimularea eritropoezei, adică a procesului de formare a hematiilor în măduva oaselor. (Acest ultim mecanism este specific hipoxiei de lungă durată.)

Întregul fenomen de creştere a numărului de hematii se observă după ce a fost depăşită altitudinea de 3 000 m, nivelul maxim globular înregistrîndu-se în săptămîna a şasea şi a şaptea de la urcarea pe munte (6 000 000/mm^3 la 3 000 m şi, respectiv, 7 500 000/mm^3 la 6 000 m). De fapt, chiar la începutul procesului de aclimatizare (în primele 24 ore de şedere la o altitudine de 5 000 m) se observă o hiperglobulie : 6 000 000/mm^3. După revenirea de la altitudine, valorile crescute ale numărului de hematii revin la normal.

Altitudinea, datorită hipoxiei, determină şi o creştere a cantităţii de *hemoglobină*. La omul adult, aceasta este cuprinsă între 14-16 g la 100 cm^3 de sînge.

Ca şi în cazul hematiilor, creşterea conţinutului de hemoglobină ale acestora se observă tot după depăşirea înălţimii de 3 000 m, şi chiar în primele zile, maximul hemoglobinic înregistrîndu-se într-a 30—40-a zi de şedere, la altitudini cuprinse între 4 000 şi 5 850 m.

Nivelul hemoglobinei, măsurat în sîngele membrilor expediţiilor alpine (anii 1951, 1952, 1953) aflaţi în Munţii Himalaia, Cho Oyu şi Tibet, la altitudinea de 4 350 m şi 5 800 m, nu a depăşit $20{,}59 \pm 1{,}4$—$22{,}9 \pm 2{,}6$ g%.

O cantitate mai mare de hemoglobină în asemenea condiţii măreşte considerabil capacitatea de oxigenare a sîngelui şi tinde astfel să contrabalanseze saturaţia cu oxigen scăzută. Cu alte cuvinte, conţinutul total de oxigen al sîngelui arterial tinde, în ciuda saturaţiei scăzute, să crească.

Volumul sanguin. Acest indice hematologic important reprezintă suma volumelor elementelor figurate (în special hematii — volumul globular) și a plasmei sanguine (volumul plasmatic), aflate în aparatul circulator. Un bărbat adult sănătos (sau o femeie), la vîrsta de 20—40 ani, are un volum sanguin de 5 (respectiv 4 litri).

Volumul sanguin variază în raport cu altitudinea și alte condiții fiziologice. Spre exemplu, atît la persoanele antrenate cît și neantrenate fizic, volumul plasmatic scade în cursul ascensiunii și menținerii timp de cîteva săptămîni la altitudine; plasma sanguină trece, în asemenea situații, din circulația generală în spațiile intercelulare. De asemenea, în primele săptămîni de viață la altitudine și valoarea volumului sanguin este scăzută, dar, în continuare, aceasta crește cu 1—21% față de valorile de la nivelul mării.

În cele ce urmează prezentăm rezultatele obținute de membrii unei expediții științifice din anii 1960—1961 (Munții Himalaia), referitoare la variațiile celor trei parametri hematologici menționați.

Tabelul nr. 5

Media valorilor unor indici hematologici exprimată în procente față de valorile de la nivelul mării

Indicele hematologic urmărit	Faza I*	Faza II**	Faza III***
Hematiile	+17,1	+32,7	+48,1
Hemoglobina	+31,7	+36,7	+40,9
Volumul plasmatic	—29,4	—20,3	—18,6
Volumul sîngelui	— 8,6	— 0,5	+19,7

* 18 săptămîni petrecute la 4 000—5 800 m
** 3—6 săptămîni petrecute la 5 800 m
*** 3—14 săptămîni petrecute la 5 800 m sau peste această limită.

c) **Sistemul cardio-vascular.** — *Debitul cardiac**. S-ar putea crede că debitul cardiac ar fi un mecanism de aclimatizare, la atmosfera rarefiată, prin care s-ar menține o aprovizionare potrivită a țesuturilor cu oxigen, dar, exceptînd o creștere temporară în cursul primelor zile, nu s-a constatat vreo modificare a debitului cardiac la altitudini mai mici de 4 500 m. Peste 4 500 m, gradul mai mare de hipoxie determină o mărire a minut-volumului inimii.

— *Pulsul.* Înainte ca aclimatizarea să se producă, pulsul crește în repaus cu 15—20 de bătăi pe minut, la altitudini între 4 500 și 5 500 m. La înălțimi mai mari, în special la indivizi cu o condiție fizică slabă, frecvența acestuia poate să crească și mai mult. Accelerarea pulsului este un semn de suferință a inimii, care lucrează sub efectele hipoxiei, mai curînd decît o indicație că minut-volumul a crescut.

— *Tensiunea arterială* nu prezintă modificări pînă la 4 500 m; la înălțimi mai mari se poate observa o ușoară creștere.

— *Electrocardiograma (ECG).* Înregistrările traseelor electrocardiografice la altitudinea de 4 650 și 5 800 m au arătat o modificare a direcției axei electrice a inimii ** (deviație la dreapta a axei elec-

* Debitul cardiac sau circulator reprezintă cantitatea de sînge expulzată într-un minut de „inima dreaptă“ sau de „inima stîngă“ (minut-volum), aceste cantități fiind egale. La om, în condiții de repaus, debitul cardiac variază între 4—6 l/minut.

** Așa după cum se cunoaște, cele mai însemnate diferențe de potențial ale inimii (cel mai mare voltaj) se află pe direcția bază-vîrf. Din această cauză, direcția bază-vîrf mai poartă și numele de *ax electric al inimii*.

Modificările poziției corpului (întoarcerea în pat de pe o parte pe alta), distensia stomacului, mișcările respiratorii obișnuite duc la modificări corespunzătoare direcției axei electrice.

trice) din cauza „deplasării" inimii într-o poziție mai verticală. Amplasarea acestor modificări a fost accentuată și mai mult pe măsură ce altitudinea creștea (6 500 și 7 440 m) și n-au diminuat nici în cazul utilizării oxigenului.

Pentru persoanele antrenate și aclimatizate (membrii expedițiilor științifice și alpiniști) unii parametri caracteristici sistemului cardio-vascular suferă variații mai puțin importante. Astfel, frecvența contracțiilor inimii rămîne circumscrisă gamei valorilor normale (70—80/minut) pînă la înălțimea de 6 500 m (subiectul aflîndu-se în stare de repaus), dar o creștere a acesteia are loc la peste 7 000 m.

Presiunea arterială înregistrează valori aproximativ normale, cu excepția unei ușoare creșteri (cu 10—15 mm Hg) a presiunii diastolice.

Pulsul, dimpotrivă, prezintă valori mai scăzute decît cele de la nivelul mării.

În cazul unui efort fizic susținut, de durată, mecanismele nervoase de adaptare la efort fac ca presiunea sistolică a acestor persoane antrenate să nu înregistreze valori decît de 100 mm Hg.

d) **Efortul fizic și nutriția.** În timpul efortului de mare intensitate al alpiniștilor (escaladarea munților), posibilitățile de acoperire a cerințelor cu oxigen sînt depășite (peste 3,5 l/minut) și ca atare se realizează o datorie de oxigen și o cheltuială excesivă de energie (peste 5 500 kcal/24 ore). Acestea sînt cele două cauze care fac din ascensiune un lucru mecanic incomparabil mai greu decît cel desfășurat la nivelul mării.

În acest sens, N o r t o n (1925) descrie ascensiunea la 8 500 m în modul următor : „ambiția mea era să fac 20 pași consecutivi în sus, fără pauză, dar nu-mi amintesc să fi reușit mai mult de 13. La

fiecare 5—10 minute trebuia să mă odihnesc un minut sau două".

Același procedeu este folosit și astăzi de cărăușii munților, care poartă în spate sarcini de 55 kg, bineînțeles la înălțimi mai joase de 8 500 m.

Avantajul biologic al folosirii oxigenului în „rate" (în timpul efortului și repausului) are drept scop satisfacerea organismului cu acest gaz la un nivel cît mai ridicat.

Numeroase date experimentale au arătat că un efort muscular de o intensitate foarte mare, apropiat limitei superioare admise, nu poate dura mai mult de două minute, dar alternînd cu perioade de cîte jumătate de minut odihnă, efortul se poate prelungi la o oră, fără instalarea oboselii.

Din aceste cîteva exemple se poate deduce că activitatea musculară desfășurată la mari altitudini este limitată, în primul rînd, de oboseala mușchilor respiratori, presiunea parțială a oxigenului destul de scăzută (26 mm Hg la un efort de 1 200 kg/m/minut), ventilația pulmonară extremă și, secundar, de limitarea proceselor de difuziune a gazelor la nivel alveolo-sanguin.

Experiențe privind procesele nutriționale la membrii primei expediții din Everest au arătat o puternică deshidratare a acestora, iar costul caloric în timpul șederii la o altitudine de peste 6 000 m a fost mai mic de 1 500 kcal/zi. Apetitul și senzația de sete la asemenea înălțimi scădeau considerabil.

În condițiile desfășurării unei activități fizice moderate, costul caloric la 3 000 m a fost de 4 500 kcal/zi, iar la 6 000 m — 3 500 kcal/zi.

În privința consumului de lichide, alpiniștii care efectuau un travaliu muscular intens urcînd 7 ore pe zi, consumau circa 3—4 l lichide pe zi (supe și

alte sucuri) și eliminau 1,5 l urină pe zi. Această imperioasă necesitate de a consuma lichide a fost explicată prin rata crescută de pierdere a apei la nivelul suprafețelor respiratorii și tegumentare.

Referitor la consumul de alimente solide, acesta îmbracă un caracter preferențial, în funcție de zona geografică, temperatura externă, obiceiuri alimentare etc. Astfel, membrii expedițiilor polare manifestau o preferință deosebită pentru hrana de natură grasă, în timp ce, în ascensiunile din Himalaia, alpiniștii consumau foarte multe glucide — pînă la 350 g/zi — și dintre acestea cele mai multe sub formă lichidă.

e) **Semne și simptome generale în ascensiunea munților.** La o persoană neantrenată și neaclimatizată, care se încumetă să escaladeze un munte mai înalt apar unele tulburări determinate de scăderea presiunii barometrice și implicit a pO_2.

Capacitatea de „ajustare" a organismului uman la înălțimea de pînă la 3 000 m se face printr-o serie de reacții fiziologice adecvate noilor condiții : ușoară accelerare a respirației și ritmului cardiac, creșterea debitului circulator și presiunii arteriale, policitemie (creștere a numărului de hematii) etc. Concomitent cu aceste reacții „adaptative" pot însă apare și unele tulburări (în funcție de individ) ca amețeală, grețuri, dureri de cap etc.

Peste 3 000 m tulburările devin mai evidente și tabloul lor constituie ceea ce numim „răul de munte" : slăbire a forței musculare, stare de oboseală, amețeli, grețuri și vomă. Cresc, de asemenea, în intensitate, fenomenele psihice, ca senzația de euforie, veselia, rîsul, plînsul etc.

La 5 000 m efectele hipoxiei asupra psihicului seamănă cu cele provocate de beția cu alcool : iritabilitate crescută, instalarea ideilor fixe, explozii emoționale etc.

La peste 5 000 m, altitudinea devine un real pericol pentru persoanele neantrenate : activitățile mintale (calculul matematic, testele de memorie etc.) sînt profund tulburate și, în final, are loc pierderea cunoștinței.

Pentru alpiniști și membrii expedițiilor științifice de pînă la 6 000 m, altitudinea nu constituie un factor agresiv ; cu excepția unor cazuri de ușoară oboseală fizică și nervoasă și tendința de a uita, celelalte funcții se desfășoară la cote optime. Dovada acestora o constituie dările de seamă scrise de conducătorii unor expediții, poeziile și desenele membrilor expediției — care au fost de înaltă ținută. Sarcini complexe ca analiza gazelor atmosferice și respiratorii, ca și alte teste au fost efectuate de aceștia numai cu puține erori.

La peste 7 900 m, majoritatea alpiniștilor și membrilor expedițiilor au fost serios afectați de hipoxie. Au început să apară tulburări de vedere, stări de confuzie auditivă, lipsă de orientare, întîrziere în gîndire și în executarea unor acțiuni intelectuale.

După revenirea de la altitudine și, implicit, după o aclimatizare la 6 400—6 800 m, valoarea unor indici fiziologici ca hiperventilația, concentrația crescută a hemoglobinei, ritmul cardiac ridicat etc., continuă să rămînă timp de încă 2—6 săptămîni la nivelul înregistrat în cursul aclimatizării.

f) **Fenomenul de aclimatizare dobîndită.** Studii și cercetări efectuate pe numeroase „loturi" de alpiniști și membri ai unor expediții au scos în evidență faptul că o activitate normală (fizică și intelectuală) se poate desfășura timp de mai multe săptămîni la altitudinea de 6 300—6 500 m, dar nici

unul din subiecții investigați n-a pretins că ar putea să suporte timp nelimitat această altitudine, cu toate că numeroase echipe mixte (alpiniști și cercetători) au supraviețuit timp de mai multe săptămîni sau luni condițiilor montane. Recordul în această privință îl dețin membrii expediției din 1961 care, timp de cinci luni și jumătate, au locuit o cabană instalată la altitudinea de 5 800 m, în Munții Himalaia.

Care sînt în fond limitele aclimatizării dobîndite în funcție de altitudine ?

Răspunsul la această întrebare aparține recentelor cercetări în domeniul vieții la altitudine, după care procesul de aclimatizare a organismului se realizează integral numai pînă la altitudinea de 5 000 m.

Pe scurt, fenomenul aclimatizării cu reacțiile sale caracteristice este înfățișat în tabelul nr. 6.

Tabelul nr. 6

Fenomenul aclimatizării și reacțiile fiziologice

I. Aclimatizarea dobîndită (integrală) la 4 500 m

Răspunsuri fiziologice la începutul aclimatizării	Răspunsurile fiziologice ale persoanelor aclimatizate
1	2
1. Creșterea frecvenței ritmului cardiac	1. Stabilizarea ritmului după 3—5 zile
2. Frecvente insomnii	2. După 3—6 zile somn normal
3. „Respirație periodică" (Cheyne Stokes) * în timpul somnului	3. Dispariția respirației Cheyne-Stokes din timpul somnului
4. Volum respirator mărit în condițiile repausului fizic) din cauza ventilației pulmonare crescute	4. Volum respirator crescut — Capacitate funcțională reziduală crescută ** — Creșterea masei circulante a sîngelui la nivelul organelor aflate în cutia toracică — Vasodilatația capilarelor pulmonare
5. Aprovizionare insuficientă cu oxigen la nivelul țesuturilor	5. Proliferarea capilarelor din majoritatea țesuturilor corpului, „înmulțirea" capilarelor asigurînd o mai bună furnizare de O_2 țesuturilor
6. Alcaloză necompensată ***	6. Echilibru acido-bazic normal

* „Respirația periodică" cuprinde diferitele tipuri de ritm respirator modificat. În acest tip de respirație, mișcările respiratorii cresc și descresc alternativ. Mici și lente la început, ele cresc treptat în profunzime și ca frecvență pînă la un maximum ; apoi scad treptat și încetează pentru un timp (35 secunde).

** Suma volumului rezidual (aerul rămas în plămîni la sfîrștiul unei expirații maximale) și a volumului expirator de rezervă (cantitatea de aer ce poate fi expirată forțat la sfîrșitul unei expirații normale).

*** Bioxidul de carbon existent în sînge sub formă de bicarbonat de sodiu constituie ceea ce se numește rezerva alcalină a organismului. Raportul dintre această rezervă alcalină și acidul carbonic din plasmă condiționează în ultimă instanță reacția sîngelui (pH-ul = 7,3). Orice modificare a unuia din factori în detrimentul celuilalt duce la devierea echilibrului acido-bazic al sîngelui de la normal și apariția stărilor de acidoză sau alcaloză.

O eliminare mărită de CO_2 (hiperpnee) sau creșterea cantității de bicarbonat din sînge, în raport cu acidul carbonic duce la devierea pH-ului sanguin spre latura alcalină și instalarea unei stări de alcaloză.

1	2
7. Creşteri nesemnificative ale numărului de hematii şi a cantităţii de hemoglobină şi hematocritului ****	7. Policitemie ; creşterea concentraţiei hemoglobinei la 22 g%; creşterea hematocritului la 60—70%; creşterea volumului sanguin cu 20,30%
8. Dureri de cap şi ameţeli	8. Dispariţia simptomelor după 3 zile
II. Aclimatizarea la 4 850 m	
9. Reacţiile de la 1—8 — Apare în plus senzaţia de oboseală, somnolenţă şi creşterea presiunii sistolice şi diastolice	9. Aceleaşi reacţii de la 1—8 — Dispariţia simptomelor şi revenirea la normal după 14 zile
III. Aclimatizarea la 6 400 m	
10. Reacţiile şi simptomele de la 1—9 — În plus : dispnee progresivă, tuse, stări depresive, contracţii involuntare (noaptea) — Creşterea persistentă a ritmului cardiac — Reducerea capacităţii funcţionale a bastonaşelor din retină	10. Aceleaşi reacţii de la 1—9 — Îmbunătăţirea situaţiei generale după 10 zile — Menţinerea ritmului crescut al inimii — Vederea normală după cîteva zile

**** Raportul dintre elementele figurate şi plasmă. În condiţii normale hematocritul reprezintă 44%, fiind mai redus la femeie (40%). Restul de 56% şi 60% reprezintă plasma.

II. POPULAŢIILE STABILE DE LA ALTITUDINE

Adaptarea populaţiilor umane care trăiesc în mod obişnuit la înălţimi mari se face printr-o serie de mecanisme fiziologice şi biochimice asemănătoare celor descrise la procesul de aclimatizare, numai că timpul necesar realizării acestora este foarte îndelungat. Practic, populaţiile care au trăit şi trăiesc secole de-a rîndul la altitudinea de 4 500—5 300 m au înscrise aceste adaptări (ca urmare a selecţiei naturale) în patrimoniul ereditar al speciei ; omul de aici se naşte, creşte, se dezvoltă şi munceşte toată viaţa în condiţiile unei hipoxii îndelungate. Prin urmare, procesul de adaptare, spre deosebire de cel de aclimatizare, presupune stabilitatea definitivă a tuturor modificărilor de ordin anatomic, fiziologic, biochimic, biofizic etc. ; presupune o homeostazie generală complet diferită de cea a persoanelor care numai ocazional (zile sau săptămîni), „populează" mediul alpin. La aceasta din urmă, variaţiile parametrilor fiziologici şi biochimici, precum şi „stabilitatea" relativă a lor, se menţin ca atare, numai atît timp cît persoana se află la altitudine. După revenirea de la altitudine, valorile acestor parametri revin în mod lent la normal (valorile dinaintea ascensiunii).

A. **Mecanismele adaptării la altitudine**

Cercetări sistematice privind aceste mecanisme de adaptare au fost realizate pe indigenii indieni din *Morochoca* — un oraş minier din Anzii Centrali ai Perului (4 554 m) — dar şi pe alţi locuitori montani instalaţi la altitudinea de 4 860—5 000 m (Tibetul Occidental, Munţii Himalaia, Anzii Centrali din

Mexic etc.), precum și pe păstorii care, ocazional, în cursul deplasărilor sezoniere, atingeau înălțimea de 5 500 m.

Rezultatele acestor cercetări au fost cel mai adesea comparate cu cele obținute pe mai multe loturi de adulți sănătoși de la nivelul mării (de exemplu, din orașul Lima).

În principal, aceste mecanisme ale adaptării la altitudine pot fi clasificate în două :

— unele, care „operează" de-a lungul gradientului pO_2-lui, pe traseul aer inspirat → sînge venos (schimburile gazoase) ;

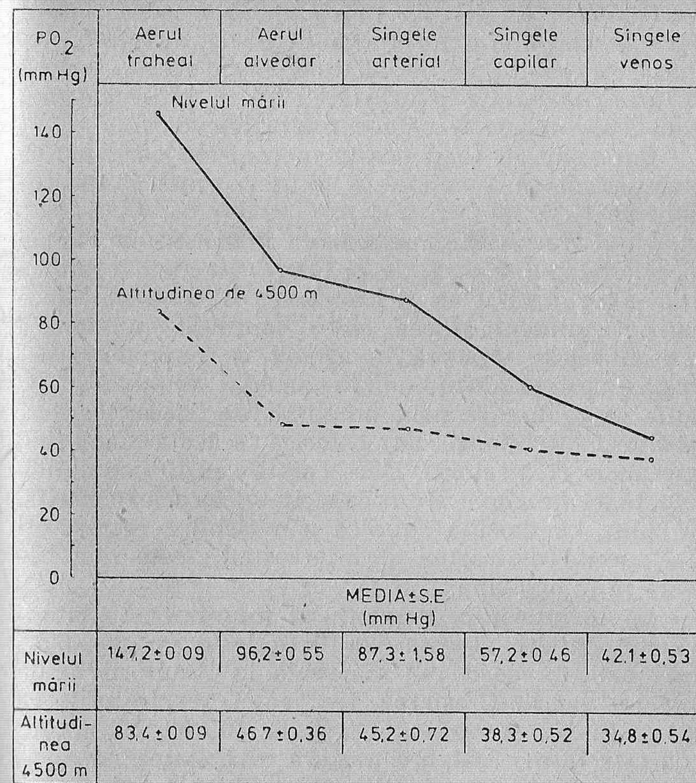
— altele, care „operează" la nivelul celular și tisular (procesele de oxido-reducere și unele reacții fiziologice specifice).

1. *Schimbul de gaze*

Schimbul de gaze între aerul alveolar și sîngele venos se face prin membrana alveolară pe baza legilor fizice. Forța fizică care determină schimbul alveolo-capilar este diferența presiunii parțiale a gazelor de o parte și alta a membranei alveolocapilare.

— *Gradientul total al pO_2-ului și CO_2-ului.* Graficul din fig. 5 prezintă valorile medii ale pO_2-ului (în mm Hg) din aerul alveolar, arterial, capilar și venos, la persoanele investigate la nivelul mării și altitudinea de 4 500 m.

Așa cum se observă din acest grafic, pO_2-lui în aerul alveolar de la nivelul mării este de 96,2±0,55 mm Hg, iar în sîngele venos — sărăcit de oxigen la nivelul țesuturilor — presiunea este de 42,1±0,53 mm Hg. Conform legilor de difuziune a gazelor, oxigenul va trece prin membrana alveolară, dinspre aerul alveolar spre sînge.



	MEDIA±S.E (mm Hg)				
Nivelul mării	147,2±0 09	96,2±0 55	87,3± 1,58	57,2±0 46	42,1±0,53
Altitudinea 4500 m	83,4±0 09	46 7±0,36	45,2±0,72	38,3±0,52	34,8±0,54

Fig. 5 Media gradientului presiunii parțiale a oxigenului (pO_2) din aerul traheal, alveolar, sînge arterial, capilar și venos, la locuitorii de la nivelul mării și la altitudinea de 4 500 m.

La persoanele adaptate la altitudini de 4 500 m valorile medii ale pO_2-ului sînt cu mult mai scăzute decît cele de la nivelul mării. În plus, gradientul pO_2-ului pe traseul alveole → sînge venos suferă

variații foarte mici (6,9 mm Hg). Este acum clar că fără intervenția unor mecanisme de adaptare, țesuturile omului de la altitudine ar suferi serios; difuzia oxigenului și utilizarea lui în procesele metabolice celulare s-ar face foarte anevoios.

Care sînt în fond aceste mecanisme care fac ca organismul să funcționeze totuși normal la altitudine?

Unul din aceste mecanisme îl constituie tocmai *ventilația pulmonară*, despre care s-a mai vorbit cu ocazia procesului de aclimatizare. Este acum unanim recunoscută ideea că o ventilație pulmonară crescută este asociată invariabil cu expunerea organismului la altitudine. Fenomenul de hiperventilație se realizează prin amplificarea mișcărilor respiratorii, presiunea atmosferică scăzută facilitînd mecanica respiratorie. Din această cauză, populațiile montane prezintă și o capacitate toracică mărită. În plus, compoziția chimică a mușchilor respiratori (în special diafragma și intercostalii) este mai bogată în mioglobină.

La locuitorii permanenți ai munților și platourilor montane această ventilație este cu 20—60% mai ridicată decît cea măsurată la locuitorii de la nivelul mării. Creșterea frecvenței respiratorii, ca și profunzimea acesteia, pînă la 40—60 pe minut, mărește într-o oarecare măsură capacitatea de ajustare a organismului la altitudine. Difuzia oxigenului în condițiile unei diferențe de presiune a oxigenului foarte mică (1,5 mm Hg — între cele două sectoare: alveolar și sînge arterial) este posibilă numai grație ventilației pulmonare crescute, asociată cu o puternică vasodilatație în rețeaua capilară alveolară.

Ca factori declanșatori ai hiperventilației la altitudine se menționează hipoxia și variațiile concentrației CO_2-lui din sînge. Efectele stimulatoare respiratorii ale deficitului de oxigen sînt puse pe seama unei creșteri a excitabilității reflexe a centrului respirator sub influența stimulilor proveniți de la nivelul chemoreceptorilor vasculari (zona sinocarotidiană).

Dar rolul principal în ventilația pulmonară îl are CO_2-ul, numit și „hormon respirator". Orice variație în plus sau în minus a CO_2-lui din sînge determină, așa cum am văzut în prima parte a lucrării, modificarea activității centrilor respiratori. Astfel, o creștere de 0,2% a CO_2-lui din aerul alveolar, și deci și din sîngele arterial, duce la dublarea numărului respirațiilor, acestea devenind în același timp și mai profunde.

În alveolele pulmonare ale vizitatorilor aclimatizați la altitudine și a locuitorilor permanenți ai munților, pCO_2-lui variază după cum urmează:

Tabelul nr. 7

Presiunea parțială a CO_2-lui în funcție de altitudine

Altitudinea (m)	Presiunea atmosferică	Presiunea parțială a CO_2-lui (mm Hg)
0	760	40
3 000	523	36
6 000	349	24
9 000	226	24
12 000	141	24

Aceste „limite" scăzute ale pCO_2-lui (36—24 mm Hg) se fac responsabile de modificarea respirației la altitudine și, în plus, este demonstrată tendința generală a aparatului respirator de a se adapta în timp la reducerile pCO_2-lui și de a menține astfel eficiența reglării respiratorii de către CO_2.

— *Policitemia* este alt mecanism principal și necesar adaptării organismului uman la altitudine. Prin el se asigură un conținut ridicat de oxigen în sînge, în ciuda unei slabe saturații a hemoglobinei cu oxigen la altitudine (50—55% la 8 000 m). O asemenea valoare scăzută, reprezintă, la omul neaclimatizat, limita inferioară sub care supraviețuirea devine foarte probabilă.

Analizînd datele din tabelul nr. 8, constatăm că locuitorii de la altitudine prezintă o creștere importantă a numărului de hematii din sînge și a conținutului de hemoglobină. În privința numărului de leucocite și trombocite, acestea nu suferă variații notabile față de ceea ce se înregistrează la oamenii de la nivelul mării. De asemenea, din cauza numărului crescut de hematii, volumul total al sîngelui circulant este crescut, volumul plasmatic ră-

Tabelul nr. 8

Variația unor indici fiziologici la nivelul mării și la altitudine

Denumirea indicilor hematologici	La nivelul mării	La altitudinea de 4 500 m
1	2	3
Volumul total sanguin (l)	4,77	5,70
Volum sînge/kg/greut. corporală (cm^3)	79,6	100,5
Volumul total de plasmă (l)	2,52	2,23
Volum plasmă/kg/greut. corporală (cm^3)	42,0	39,2
Volumul total de hematii (l)	2,33	3,39
Volum hematii/kg/greut. corporală (cm^3)	37,2	61,1
Hemoglobină totală (g)	756	1.166
Hemoglobină/kg/greut. corporală (g)	12,6	20,7
Hematii (milioane mm^3)	5,11	6,44
Hematocritul (%)	46,6	59,5
Reticulocite (%)	0,4	1,0
Trombocite (mm^3)	406.000	419.000
Leucocite (milioane mm^3)	6,68	7,04
Neutrofile (%)	56,5	55,4
Eosinofile (%)	4,1	3,3
Bazofile (%)	0—4	0—3
Monocite (%)	6,4	5,7
Limfocite (%)	32,4	35,8

mînînd la valori normale sau reducîndu-se nesemnificativ.

Privitor la natura mecanismului de adaptare policitemic, mai mulți autori sînt de acord cu ipoteza după care acesta are la bază hiperactivitatea organelor hematopoetice (măduva roșie de la nivelul unor oase scurte și late). Reglarea numărului de hematii se face în raport cu tensiunea parțială a O_2-lui în țesuturi. Hipoxia determină, într-o primă etapă, un răspuns reflex rapid (splenocontracție), care mobilizează hematiile din depozite și mai apoi secreția de eritropoetină ($\alpha\alpha_1$ — glicoproteină) din hipotalamusul posterior, care acționează asupra măduvei roșii.

— *Afinitatea hemoglobinei pentru oxigen.* Adaptarea la altitudine se face și prin mărirea capacității de saturare a sîngelui cu oxigen, în așa fel încît sîngele să cedeze țesuturilor aceeași cantitate de oxigen. Dar această afinitate crescută a sîngelui (în special a hemoglobinei) pentru oxigen se observă numai pînă la altitudinea de 4 000 m. De la această înălțime și pînă la 5 500 m curba de disociere a

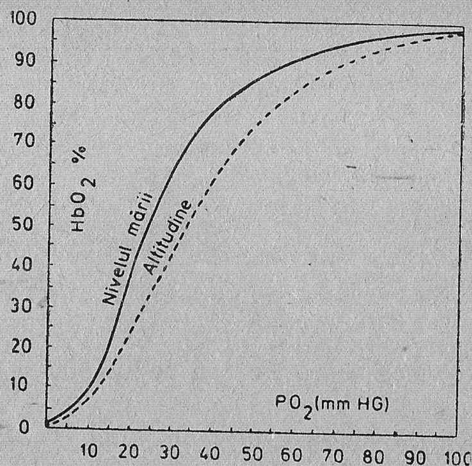


Fig. 6 Curbele de disociere a oxihemoglobinei, la persoanele de la nivelul mării și altitudine.

oxihemoglobinei * tinde să ia forma pe care o prezintă la nivelul mării, iar la peste 5 500 m se constată o deplasare netă către dreapta a acesteia (fig. nr. 6).

Mai recent s-a demonstrat că, începînd chiar cu altitudinea de 4 500 m, are loc o deplasare spre dreapta a respectivei curbe.

În fond, ce semnifică această modificare a formei curbei ?

Volumul crescut al hematiilor, asociat cu concentrația sporită de hemoglobină la înălțime (4 500 m), ca și aspectul special al curbei de disociere a oxihemoglobinei contribuie și mai mult la reducerea medie a gradientului pO_2-lui dintre sectoarele aer alveolar → sînge arterial → capilare → sînge venos. Concret, deplasarea spre dreapta a curbei corespunde unei afinități scăzute a hemoglobinei pentru oxigen, satisfacerea nevoilor organismului în oxigen făcîndu-se acum prin producerea unui curent continuu de oxigen din hematii către țesut și, implicit, prin procesele de difuziune a acestui gaz în plasmă.

* Relația dintre pO_2-lui și procentul de saturație a hemoglobinei cu acest gaz — adică proporția de oxihemoglobină față de hemoglobina redusă (fără oxigen) — poate fi înscrisă sub forma unei curbe — curba de disociere a oxihemoglobinei.

Din fig. 6 se mai observă că aspectul curbei de disociere are forma unui *S*, anumite particularități ale formei — așa cum am văzut — avînd o importanță fiziologică deosebită. Așa, de exemplu, curba din figura 6 arată că la o pO_2-lui din sîngele arterial egală cu 97 mm Hg, hemoglobina este aproape complet saturată cu oxigen (98%). Expunînd hemoglobina la o pO_2-lui mai mare, cantitatea totală de oxigen fixată de sînge va spori foarte puțin ; pentru a cîștiga și ultimele 2—3 procente, ar trebui ca presiunea pO_2-lui să înregistreze valori de peste 300 mm Hg.

Turtirea porțiunii superioare a curbei arată că procentul de saturație a hemoglobinei se reduce relativ puțin, înainte ca presiunea de oxigen să fi scăzut la aproximativ jumătate din valoarea ei normală. Peste 60 mm Hg, presiunea oxigenului alveolar poate varia în limite destul de largi, în timp ce cantitatea totală de oxigen nu se modifică decît foarte puțin. La o pO_2-lui de 70 mm Hg, hemoglobina este încă saturată 90%.

Înclinarea părții inferioare a curbei este de așa natură, încît o scădere dată a presiunii de oxigen produce o desaturare mult mai mare a hemoglobinei. Comportarea hemoglobinei, așa cum o indică forma curbei, favorizează așadar o absorbție aproape maximă de oxigen în plămîni, atîta timp cît presiu-

nea de oxigen este mai mare de 80 mm Hg, şi o eliberare rapidă a gazului la presiunile mici de oxigen, care predomină în ţesuturi (de la 1 mm sau mai puţin pînă la 60 mm Hg).

— *Echilibrul acido-bazic şi transportul de gaze.* Policitemia şi concentraţia crescută de hemoglobină în sîngele circulant, precum şi hiperventilaţia constantă la oamenii de la altitudine produc modificări şi în sfera echilibrului acido-bazic din sînge şi în transportul de gaze.

Creşterea concentraţiei de hemoglobină permite transportul unei cantităţi mai mare de oxigen de la plămîni spre ţesuturi, în ciuda unei saturaţii reduse.

Scăderea pCO_2-lui din sîngele arterial, ca urmare a hiperventilaţiei pulmonare, este compensată printr-o reducere proporţională a bicarbonatului de sodiu din sînge, încît, în final, pH-ul sanguin rămîne la valori normale.

2. *Mecanisme de adaptare la nivel celular şi tisular*

Aşa cum s-a văzut din figura 5, pO_2-lui din sîngele arterial, capilar şi venos erau cu mult mai scăzute la persoanele de la altitudine. Este logic să admitem că adaptarea organismului la presiuni ambiante scăzute se asociază şi cu procese compensatorii la nivel celular şi tisular.

Aceste presupuneri au fost confirmate de rezultatele obţinute de nenumăraţi cercetători, care au arătat că, de exemplu, în timpul unei activităţi fizice de lungă durată, la locuitorii montani, producţia de lactat şi piruvat a fost mai scăzută, în comparaţie cu cea înregistrată la locuitorii de la nivelul mării.

Aceste rezultate, la prima vedere paradoxale, confirmă faptul că la oamenii adaptaţi la altitudine activitatea masculară urmează predominant ca-

lea metabolică aerobă, şi aceasta tocmai în ciuda unei pO_2-lui mai scăzute decît la nivelul mării.

Densitatea şi numărul foarte mare de capilare deschise din ţesutul activ — muscular —, precum şi procentul ridicat de mioglobină de la acest nivel reprezintă, cu siguranţă, mecanisme adaptative importante la nivel tisular — ambele „elemente" influenţînd favorabil cinetica O_2-lui la organismele adaptate.

De asemenea, în hipoxia îndelungată apar modificări ale activităţii şi concentraţiei enzimelor tisulare, cu rol în „activarea" O_2-lui. Se produce astfel o creştere a fermenţilor heminici şi a dehidrogenazelor în ţesuturi, precum şi a numărului de mitocondrii în celule şi, în final, o mai bună utilizare a O_2-lui.

3. *Alte aspecte ale adaptării la altitudine*

— *Activitatea fizică.* Explorarea capacităţii de lucru obişnuit sau a capacităţii maxime de efort constituie, la ora actuală, singurele probe (teste) care indică, în mod clar, funcţionarea şi eficienţa mecanismelor de adaptare; numai sub „presiunea" suplimentară a activităţii fizice organismul este obligat să-şi pună în mişcare toate „piesele" necesare satisfacerii cerinţelor metabolice ridicate. Aceasta cu atît mai vîrtos cu cît subiecţii de la nivelul mării, aclimatizaţi şi menţinuţi timp mai îndelungat la altitudine, prezentau, în starea de „repaus" (odihnă), trăsături fiziologice asemănătoare locuitorilor indigeni. Deci, numai în timpul exerciţiilor fizice „eficienţa" (randamentul) superioară a celor din urmă devine evidentă, cu toate că de foarte multă vreme excursioniştii şi alpiniştii atrăseseră atenţia asupra capacităţii maxime de efort deosebite

a băștinașilor de pe platourile înalte ale Americii și Asiei.

Rezumînd momentele principale cu profunde semnificații pentru procesul esențial al adaptării, vom spune că activitățile fizice erau efectuate de locuitorii montani (în comparație cu cei de la nivelul mării) cu o rată a ventilației pulmonare mai crescută, un consum mai redus de oxigen și o rată scăzută a pulsului, presiunii arteriale sistolice și diastolice.

În esență, investigațiile făcute asupra limitelor capacității activității musculare la altitudine au demonstrat că randamentul fizic crescut al locuitorilor indigeni constituie cea mai caracteristică trăsătură fiziologică a acestora și, probabil, în același timp, cel mai bun indicator cu privire la mecanismele de adaptare la altitudine.

— *Sistemul cardio-vascular*. Locuitorii permanenți ai marilor altitudini prezintă un grad moderat de hipertensiune pulmonară. În poziție de ortostatism s-au înregistrat, la aceștia, creșteri ale presiunii sanguine în artera pulmonară și în ventriculul drept. Cît privește activitatea ventriculului stîng, acesta nu a suferit modificări în comparație cu ceea ce se întîmplă la nivelul mării.

Copiii între 1 și 14 ani (dar cel mai adesea la 5 ani), născuți la altitudine, au prezentat o hipertensiune pulmonară mai mare decît cea a adulților tineri de la aceeași înălțime.

„Patogeneza“ hipertensiunii pulmonare la altitudine nu este însă complet elucidată ; se pare că îngroșarea tunicii musculare a arteriolelor și arterelor pulmonare, și, ca urmare, rezistența circulației crescute în aceste vase, ar fi doar două dintre cauze.

Mai recent s-a emis și părerea după care presiunea pulmonară mai ridicată ar favoriza o „perfuzie“

mai eficientă a circulației în toate zonele pulmonare și, în consecință, un schimb reușit între aerul alveolar și sîngele alveolocapilar.

— *„Pierderea“ procesului de adaptare normală — boală cronică a muntelui.* În anul 1928, Monge semnalează cîteva cazuri de „pierdere“ a fenomenului de adaptare, la unii indigeni de la altitudine.

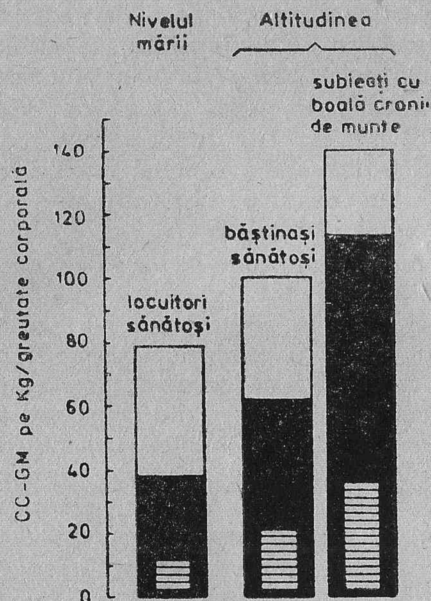


Fig. 7 Volumul total sanguin **la subiecții de la nivelul mării** și altitudine : Suprafața albă = volumul plasmei ; suprafața neagră = volumul eritrocitar ; suprafața hașurată = hemoglobina.

Cauzele cele mai frecvente ale acestor situații erau datorate, în principal, posibilităților reduse de saturație a sîngelui arterial cu oxigen, cît și unei pronunțate policitemii. Volumul total al sîngelui circulant atingea valori foarte mari (fig. 7).

Biopsia măduvei osoase arăta, de asemenea, o intensă activitate hematopoetică ; numărul și tipul leucocitelor precum și al trombocitelor sanguine rămîneau normale.

Hipertensiunea pulmonară înregistra un nivel foarte crescut, în ciuda presiunii sanguine sistolice și diastolice care rămînea la valori normale.

Capacitatea pulmonară totală nu era semnificativ modificată, iar cea vitală scădea foarte puțin. Caracteristica de bază a funcției respiratorii o constituia însă fenomenul de hipoventilație asociat cu o pO_2-lui alveolar mai scăzut.

Cu tot materialul faptic de care dispune literatura de specialitate privitor la geneza bolii cronice de munte, nici pînă în prezent nu s-a putut descifra mecanismul precis al producerii acesteia. Poate sensibilitatea crescută a centrilor nervoși respiratori la stimulul specific — CO_2 — din sînge sau bogata activitate hematopoetică la aceste persoane (care atinse de această boală trebuie neapărat să coboare mai jos sau la nivelul mării) vor putea explica într-un viitor apropiat cauzele acestei maladii.

III OMUL PÎNĂ ÎN APROPIEREA... SPAȚIULUI COSMIC

Începutul istoriei cuceririi înălțimilor cu ajutorul diferitelor tipuri de aparate de zbor (baloane, avioane, rachete etc.) datează din anul 1783, cînd frații M o n t g o l f i e r s-au încumetat să efectueze un zbor cu un balon de dimensiuni foarte mari (22,65 m înălțime și un diametru de 14,63 m) umplut cu „aer cald". În acest zbor ei au făcut și unele observații pe „pasagerii" care i-au întovărășit : o oaie, un cocoș și o rață.

Victoria obținută de acești primi aeronauți a fost doar începutul, deoarece în același an doi francezi realizează o ascensiune deasupra Parisului, ridicîndu-se cu balonul pînă la 1,8 km și aterizînd după o oră și 45 de minute, la 43 km de la locul „decolării".

Odată cu punerea la punct a unei tehnologii „aeriene" speciale (baloane confecționate din mătase impregnată cu soluții speciale și umflate cu hidrogen) oamenii s-au gîndit că n-ar fi lipsit de interes să urmărească, cu fiecare zbor și reacțiile generale ale organismului la altitudine. Astfel, chiar după primele zboruri la peste 2 700 m, unii aeronauți acuzau dureri în urechi și la nivelul glandei maxilare, acestea încetînd odată cu revenirea la sol.

La 3 noiembrie 1799 un nou „asalt" — la o înălțime de peste 2,5 km — are la bordul balonului un aeronaut și un cal. La coborîre omul nu pre-

zenta nici un simptom deosebit, în timp ce calului îi curgea sînge din nas și urechi.

Primele rezultate științifice privitoare la natura fenomenelor electrice și magnetice la altitudine și mai puțin ... la efectele fiziologice ale zborului în funcție de altitudine le datorăm lui Robertson care, la 18 iulie 1803, ajunge la altitudinea de 7 170 m. Aceleași experiențe au fost repetate, cu un an mai tîrziu, de celebrul fizician Gay-Lussac.

Avîntul luat de explorările spațiului aerian, perspectivele pe care le oferă studierea oceanului aerian și necesitatea creșterii eficienței eforturilor depuse în acest domeniu fac ca, pînă în anul 1871, să aibă loc nu mai puțin de 3 500 ascensiuni cu balonul, dintre care foarte puține destinate investigațiilor biologice.

Pe baza „cercetărilor" efectuate pe om pînă la această dată s-a ajuns la concluzia generală că în apropierea celor 2 600 m înălțime unele funcții se modifică după cum urmează : rata pulsului crește de la 76 la 111 pe minut, iar la unele persoane se observă și o ușoară stare de congestionare a feței (reacție hiperemică). Celelalte funcții (respirația, circulația, excreția) rămîn la cote normale de funcționalitate.

La 7 000 m pulsul se menține accelerat și, în plus, se constată o creștere a respirației asociată cu dificultăți în deglutiție.

Așa cum se cunoaște, manevrarea balonului, observarea și dirijarea dispozitivelor de comandă — relativ simple — necesită unele activități cu solicitare predominant nervoasă. Zborul la această înălțime, și la peste 7 000 m, constituie o solicitare simultană a aparatelor somato-motorii și a mecanismelor nervoase coordonatoare senzorio-motorii, deci o solicitare atît metabolică cît și nervoasă. Se citează

astfel cazul mai multor aeronauți care, la asemenea altitudini, făceau în prima zi de zbor comentarii susținute, consistente, privind mediul aero-spațial. A doua zi, în aceeași perioadă, după 40 ore de zbor, comentariile scădeau în vervă, deveneau plicticoase, deși evenimentele de relatat nu erau mai puțin importante ca cele din prima zi. Concomitent cu cele menționate avea loc și o scădere progresivă a inițiativei personalului aeronautic.

Peste 7 000 m apar unele efecte mult mai serioase cum ar fi senzația de greață, vomă și somn letargic și o colorație difuză, cenușie sau albăstruie, a mîinilor și buzelor.

La peste 9 000 m aeronauții încep să prezinte unele tulburări de vedere, necoordonare a mișcărilor și incapacitate de a efectua mișcări, în special cu mîna stîngă, iar în final, dacă nu se intervine cu rezerva de oxigen se producea pierderea cunoștinței.

După ce, în anul 1862, șeful laboratorului meteorologic de la Greenwich, James Glaisher și aeronautul Coxwell execută numeroase și îndrăznețe ascensiuni cu balonul la peste 9 000 m (în numai 45 minute), se ajunge la concluzia că zborul repetat cu balonul ar putea duce la fenomenul de aclimatizare a organismului la mari altitudini.

Între anii 1874-1876, P. Bert — fondatorul fiziologiei la mari altitudini — experimentează asiduu comportamentul omului în barocameră și, împreună cu un coleg al său, efectuează, pentru prima dată, un zbor cu balonul unde folosește aer îmbogățit cu oxigen, de la 3 600 m pînă la 6 000 m au respirat un aer în care proporția de oxigen era de 40%, iar de la 6 000 m în sus proporția de oxigen creștea la 70%.

Dar oricît de însemnate au fost progresele obținute în cercetarea mediului aerian cu ajutorul baloanelor, cea mai spectaculoasă realizare a aeronauticii „moderne" rămîne cea a profesorului A. Piccard și a asistentului său V. Kipfer care s-au ridicat cu „stratostatul" lor pînă la altitudinea record de *16 000 m*, în mai, 1931. Pentru a învinge unele greutăți ivite pe parcursul acestui zbor, cei doi au fost nevoiți să rămînă în aer 16 ore, timp în care rezervele de oxigen s-au consumat, astfel încît au avut de suportat nu numai o căldură înăbușitoare, dar și o lipsă de aer sufocantă.

După Piccard, o adevărată întrecere s-a pornit între diferite țări, pentru obținerea unor recorduri stratosferice cît mai ridicate.

Primii care s-au avîntat au fost sovieticii, care construiesc baloane-stratostate — destinate zborurilor în stratosferă. Un asemenea balon cu trei aeronauți ajunge, în 1934, să stabilească granița celor 22 km de altitudine.

În același an, americanii ridică recordul la 23,5 km.

Următoarele zboruri în stratosferă (1957, 1958, 1961 la altitudinea de circa 30 km) aduc date noi cu privire la funcționarea organismului ; informațiile biomedicale, de data aceasta, erau înregistrate integral cu ajutorul aparatelor telemetrice.

Dar recordurile amintite pînă acum sînt bătute în anul 1961 de un pilot sovietic care, cu ajutorul unui avion, atinge 34,2 km, înălțime socotită azi ca depășind limita stratosferei. Cu această performanță se încheie perioada stratosferică. Ea n-a durat decît 30 de ani.

Noua eră — era cosmică — se deschide printr-un salt formidabil făcut de om acum mai bine de 18

ani, salt care l-a dus din stratosferă tocmai spre limita superioară a oceanului aerian și de acolo, foarte curînd, direct în spațiul cosmic.

În cele ce urmează vom da curs expunerii noastre referitoare la unele aspecte funcționale ale omului desprins de sol cu ajutorul aparatelor de zbor, spațiul limitat conceput pentru această broșură nepermițînd și tratarea altor probleme legate de comportamentul omului în cosmos.

O serie de cercetări, făcute pe animale și om, au arătat că efectele presiunii atmosferice reduse sînt identice atît la atmosfera naturală cît și în nacela baloanelor sau carlinga avioanelor, atunci cînd nu se folosește, în respirație, aer comprimat sau oxigen medicinal.

Înainte de a prezenta efectele fiziologice pe care le exercită ascensiunea la altitudini mari asupra organismului, vom reaminti pe scurt cîteva principii fizice fundamentale, care intră în joc în aceste condiții. Cum presiunea scade pe măsură ce altitudinea crește, gazele din atmosferă și din plămîni trebuie desigur să se dilate. Deci, cantitatea de oxigen și a celorlalte gaze din atmosferă, pe unitate de volum, scade proporțional. Din acest motiv, la altitudini mari (peste 8 400 m), inhalarea de oxigen, chiar pur, dintr-o bombă, cu ajutorul unui tub și al unei măști, nu înlătură puternica hipoxie. Presiunea oxigenului în plămînii unui individ care respiră în acest mod oxigen pur la o înălțime de 12 000 m va fi de numai 60 mm Hg, iar sîngele lui arterial va fi saturat cu oxigen numai 88%. O cameră închisă care să conțină aer la o presiune mai mare (corespunzătoare unei altitudini de 2 400 m) este singurul mod în care se poate rezolva satisfăcător problema hipoxiei acute în zborul la mare înălțime. Dar și în aceste condiții rămîne pericolul să se producă de-

fecte de etanşeitate, în special în timpul zborurilor acrobatice. Dacă aviatorii ar fi expuşi brusc la presiunea mică ce există la altitudini de peste 10 500 m, s-ar instala în cîteva secunde fenomenul de anoxie acută, cu pierderea cunoştinţei. Decomprimarea bruscă sau „explozivă", cum vom vedea, poate produce efecte grave.

Rezultă deci că în ascensiunile aviatorilor organismul este supus, mai mult sau mai puţin, dar totdeauna, unui grad moderat de suboxigenare ; pînă la o pO_2-lui de 115 mm Hg homeostazia se echilibrează şi numai o activitate excesivă poate să determine decompensări. Dacă ascensiunea unui avion se face rapid, fără să se folosească oxigen, pilotul îşi poate pierde brusc cunoştinţa datorită reducerii aportului de oxigen la creier. Cînd ascensiunea se face mai încet, sau altitudinea nu este atît de mare încît să producă o imediată pierdere a cunoştinţei, aviatorul poate să treacă la început printr-o perioadă de excitare, cu ilaritate şi senzaţie de bine. Pe măsură însă ce sînt atinse altitudini mai mari apar efecte mult mai severe, uneori insidioase : torpoare mintală şi senzorială, slăbire musculară, cefalee, vărsături, cianoză, dispnee, deshidratare şi compresiune intratoracică, vedere slabă, percepere a culorilor perturbată şi tendinţa la respiraţie periodică. Un efect comun şi periculos este apariţia ideilor fixe, care pot duce la acţiuni mai puţin responsabile.

Acestea au fost cîteva din semnele şi simptomele generale care caracterizează comportamentul aviatorului ; în cele ce urmează prezentăm însă şi reacţiile organismelor pasagerilor în funcţie de altitudine :

— pentru majoritatea oamenilor sănătoşi, altitudinea de pînă la 1 500 m nu produce neplăceri, reprezentînd altitudinea indiferentă, fără reacţii fiziologice deosebite faţă de cele de la sol. La o asemenea altitudine, pO_2-lui alveolar este de 80 mm Hg, iar hemoglobina este saturată în proporţie de 95%;

— între 1 500 şi 3 500 m multe din sistemele funcţionale ale organismului „lucrează" în vederea adaptării acestuia la noile condiţii de viaţă. Este aşa-zisa zonă de compensaţie completă. Presiunea parţială a oxigenului la această înălţime este de circa 50 mm Hg, iar procentul de saturaţie a hemoglobinei este de 85%. De la 3 000 m altitudine călătoria cu avionul devine contradindicată pentru bolnavii cu afecţiuni circulatorii şi respiratorii compensate. În caz de „pneumotorax" *, la această altitudine, gazele din cavitatea pleurală vor suferi un proces de expansiune, care comprimă plămînul spre hil, producînd insuficienţa ventilatorie. Pentru aceste persoane, ca dealtfel şi pentru cei „sensibili" la zbor, presurizarea avionului (administrarea de aer la o presiune superioară celei exterioare) se impune ca o necesitate.

Din motive de ordin economic şi tehnic, de foarte multe ori diferenţa dintre cele două presiuni (din interiorul avionului şi exteriorul acestuia) nu poate fi prea mare şi de aceea pO_2-lui nu depăşeşte 75-80

* Solidaritatea celor două pleure este o condiţie esenţială pentru respiraţie. Ea este asigurată în mod admirabil prin forţa capilară a lichidului din spaţiul virtual intrapleural. Datorită păturii extrem de fine de lichid dintre ele, cele două pleure pot aluneca foarte uşor una faţă de cealaltă, dar nu pot fi despărţite. Dacă între cele două pleure pătrunde în mod accidental sau dacă se introduce în mod voit aer (pneumotorax), atunci ele nu mai sînt solidare şi astfel mişcările respiratorii sînt lipsite de efect, oricît ar fi de ample. În practica medicală se recurge uneori la acest procedeu spre a scoate din funcţie un plămîn bolnav care are nevoie de repaus. În acest timp organismul este deservit, din punct de vedere respirator, numai de celălalt plămîn.

mm Hg şi chiar mai puţin, 65 mm Hg. De aceea zborul în astfel de avioane se face cu precauţii pentru bolnavii cardiopulmonari, bătrînii hipertensivi, hemoglobinopaţi, bolnavii cu insuficienţă renală.

Acest gen de presurizare este valabil numai pentru anumite avioane, cele care nu depăşesc 12 000 m înălţime. O defecţiune (pierderea etanşeităţii cabinei) atrage după sine „pierderea" presiunii şi atunci se impune administrarea de oxigen fiecărei persoane.

Riscul de pierdere a presiunii atrage după sine traumatisme ale ţesuturilor, aeroembolism, iar la presiuni foarte scăzute (corespunzătoare înălţimii de 20 000 m), fierberea lichidelor organice. Cel mai comun şi mai periculos accident îl constituie însă ruperea plămînului prin suprapresiune pulmonară.

Aşa cum arătam, aceste riscuri pot fi evitate prin inhalarea de oxigen. În cele mai frecvente stări de hipoxie (pO_2 alveolar fiind de 25—30 mm Hg, corespunzător altitudinii de 6 500—7 000 m), organismul se apără prin fenomenul de hiperventilaţie compensatoare ; se produce o acapnie *. Prin aclimatizarea persoanelor la asemenea pO_2-lui se pot realiza performanţe şi mai mari, ca urmare a creşterii sensibilităţi centrului respirator la stimulul hipoxic, printr-o perfecţionare a funcţiei elementelor figurate ale sîngelui (hematii), prin modificarea echilibrului acidobazic, vasoconstricţie encefalică, scăderea funcţiei corticale şi subcorticale.

Peste 15 000 m problema presurizării avioanelor, cu aer de la nivelurile respective din mediul

* Scăderea importantă a tensiunii CO_2-lui în sînge este denumită acapnie. Ea se produce în stările care se însoţesc de o creştere a ventilaţiei pulmonare, gazul fiind „pompat" sau „exsuflat" din corp odată cu aerul expirator.

aero-spaţial, devine mai dificilă din cauza efectelor toxice ale ozonului. Dacă ozonul pătrunde în incinta avionului va determina efecte iritante şi alte manifestări nocive ; acest pericol a fost îndepărtat prin creşterea temperaturii în compresoarele avionului. De exemplu, în avionul tip Comet neutralizarea ozonului se face pînă la 75%, iar în Concorde 100%.

Înălţimea de 14 00—16 000 m reprezintă limita la care aviatorul şi pasagerul din avion (fără cabină ermetic închisă) poate supravieţui prin inhalarea de oxigen pur sub presiune. Mai sus de altitudinea de 15 000 m, omul nu poate pătrunde decît în aparatele de zburat cu cabine ermetic închise.

Un accident posibil în ascensiunile rapide ale personalului navigant îl reprezintă decompresiunea bruscă, cînd în curs de cîteva minute, avionul cu cabină neînchisă ermetic se ridică la o înălţime de peste 6 000 m. Aşa cum am văzut în prima parte a lucrării, azotul este un gaz inert din punct de vedere respirator, el fiind solubil în apă, dar cu deosebire în lipide (se găseşte dizolvat în umorile şi lipidele organismului în cantităţi însemnate, datorită concentraţiei sale mari în aer, proporţional cu presiunea sa parţială).

Cînd presiunea aerului scade brusc prin zborul la înălţime, azotul dizolvat trece sub formă gazoasă, de bule, în sînge (embolie gazoasă) şi ocluzionează capilarele. Efectele emboliei gazoase la aviatori se traduc, de regulă, prin dureri intense într-una sau mai mult încheieturi mari, mîncărime a pielii sau senzaţii cutanate de cald sau de rece. Rareori apar simptome mai grave, ca de exemplu paralizii prin formarea de bule în vasele măduvei spinării sau în creier. Aceste tulburări pot fi combătute rapid, în majoritatea cazurilor, coborînd brusc.

Pentru a preveni acest gen de accidente, s-a propus ca, înainte de zbor, aviatorul să respire cîtva timp oxigen pur, în felul acesta eliminîndu-se cea mai mare parte din azotul dizolvat în sînge și țesuturi, fapt care va diminua riscul apariției simptomelor grave determinate de formarea bulelor gazoase de azot. Același efect favorabil se poate obține prin respirarea prealabilă a unui amestec de oxigen 21% și heliu 79%, combinată cu exerciții fizice.

În aviația modernă, protejarea împotriva decompresiunii bruște se face prin folosirea în mod curent a cabinelor ermetic închise, în care se menține presiunea corespunzătoare altitudinii de 1 000—2 500 m.

Dar ascensiunile rapide, cu aparate de zbor, pot produce și alte tulburări importante cum sînt expansiunea gazelor din tubul gastro-intestinal și barotraumatisme auditive. Asemănător gazelor din atmosferă, cele din stomac și intestin își măresc volumul proporțional cu scăderea presiunii. Gazul care ocupă un litru la nivelul mării se dilată de două ori la presiunea existentă la 5 400 m (375 mm Hg), de patru ori la 10 200 m și de șase ori la 12 600 m (presiune de 128 mm Hg). Dacă abdomenul nu este ținut într-o centură (sau prin alte mijloace), sau dacă gazele nu sînt evacuate, stomacul și intestinul se dilată. În zborul rapid ascensional poate apărea jenă sau chiar brusc dureri mari dacă există vreo piedică la trecerea liberă a gazelor, de exemplu, un obstacol în colon. Leziunile care par să fie cele mai frecvente în urma decompresiunii explozive constau, în situația de față, în ruperea stomacului și a intestinului.

Importanță deosebită prezintă și efectul mecanic al presiunii asupra urechilor. În perioada de ascensiune a navei aeriene, cînd presiunea ambiantă descrește, presiunea mai mare din urechea mijlocie poate produce bombarea timpanului spre conductul auditiv extern și ca atare se vor percepe unele tulburări de audiție. Acestea se datoresc în principal inegalității presiunii aerului pe cele două fețe ale timpanului. Prin înghițiri succesive, care fac să se deschidă trompa lui Eustachio, o parte a aerului din căile respiratorii trece în cutia timpanică și presiunea pe cele două fețe ale timpanului se reegalizează, făcînd ca inconvenientul să dispară.

În perioada de coborîre a navei aeriene valoarea presiunii exterioare o depășește pe cea din urechea mijlocie. În această situație, deglutiția rămîne unicul mecanism pentru egalarea presiunii. Trompa lui Eustachio funcționează ca o valvă ; pînă la o presiune de 80—90 mm Hg, aceasta se poate deschide prin deglutiție, dar la presiuni mai mari pereții porțiunii inferioare a trompei sînt colabați (turtiți) și menținuți în contact într-o asemenea măsură de vidul parțial din urechea mijlocie, încît mușchii dilatatori devin incapabili s-o deschidă. Cînd diferența de presiune dintre aerul atmosferic și urechea mijlocie atinge 100—150 mm Hg se produce o ruptură a timpanului, fenomen întovărășit de o durere puternică, cu zgomot exploziv. Este însă puțin probabil să se producă, la o persoană conștientă, o diferență de presiune suficient de mare pentru a rupe timpanul, exceptînd o coborîre foarte rapidă (aproximativ 1 310 m pe minut) ; deși nu există nici o senzație care să semnaleze creșterea presiunii pe timpan, orice persoană face o deglutiție automată la fiecare minut.

Se pot produce rupturi ale timpanului, cu ușurință, la pasagerii care dorm sau la răniții care și-au pierdut cunoștința. La aceste persoane, trompa lui Eustachio rămîne închisă sau este, în fapt, ținută

închisă de către presiunea mai mare din faringe și nas. Soluții slabe de hidroclorat de fenilefrină sau efedrină sînt pulverizate în nări pentru a contracta țesutul din jurul orificiului trompei lui Eustachio, ajutîndu-se astfel la egalarea presiunii.

Pentru preîntîmpinarea unor asemenea tulburări ale funcției de audiție, în construcția avioanelor moderne care zboară la altitudine mare și a capsulelor pentru zborul în spațiul cosmic, se creează, prin aparataje speciale, presiune constantă.

BIBLIOGRAFIE

1. I. ARDELEAN și M. BARNEA, 1972, *Elemente de biometeorologie medicală*, p. 139-150, Editura Medicală, București
2. M. BĂCESCU, 1972, *Chemarea apelor*, Editura științifică și enciclopedică, București
3. I. BACIU, 1977, *Fiziologie*, Editura Didactică și Pedagogică, București, p. 259-303
4. L. CATALA, 1970 *Maroc Médical*, vol. 50. nr. 526, p. 362
5. J. Y. COUSTEAU, 1974, *Encyclopédie Cousteau*, Paris, Ed. R. Laffont
6. F. MC DONALD and E. SIMONSON, 1953, *J. Appl. Physiol.*, 6, p. 304-307
7. G. E. JR. FOLK, 1969, *Introduction to Environmental Physiology*, Chap. 8 an 9, p. 211-248, Lea and Febiger, Philadelphia
8. A. HITCHOCK, 1964, *Handbook of Physiology*, Sec. 4: Adaptation to the Environment, p. 869-876, American Physiological Society, Washington, D. C.
9. A. HURTADO, 1964, *Handbook of Physiology*, Sec. 4: Adaptation to the Environment, p. 843-860, American Physiological Society, Washington, D. C.
10. A. MAIO, E. FARHI, 1967, *J. Appl. Physiol.*, vol. 23, nr. 5, p. 687-693
11. B. MORRISON, T. FLORIO, 1971, *J. Appl. Physiol.*, vol. 30, nr. 5, p. 724-732
12. GH. NĂSTĂSESCU și I. CEAUȘESCU, 1975, *În ajutorul profesorului de biologie*, vol. 6, București

13. O. PASTUCH, 1978, *Probleme actuale de biologie*, p. 196-230, Editura didactică și pedagogică, București
14. C. A. PICOȘ, 1976, *Viața la temperaturi extreme*, Editura științifică și enciclopedică, București
15. I. G. C. E. PUGH, 1964, *Handbook of Physiology*, Sec. 4 : Adaptation to the Environment, p. 861-868, American Physiological Society, Washington, D. C.
16. B. REYNAFARJE, 1962, *J. Appl. Physiol.*, 17, p. 301-305
17. C.F. SACCHI et P. TESTARD, 1971, *Ecologie animale*, Chap. IV, p. 100-129
18. C. STOICA și N. CRISTEA, 1971, *Meteorologie generală*, Editura tehnică, București
19. L. W. SWAN, 1952, *Ecology*, 33, p. 109-111.
20. C. L. URLICH, 1964, *Handbook of Physiology*, Sec. 4 : Adaptation to the Environment, p. 329-341, American Physiological Society, Washington, D. C.
21. T. VELASQUEZ, 1959, J. Appl. Physiol., 14, p. 357-362

CUPRINS

Redactor : DOINA CIOACĂ
Tehnoredactor : MARIA IONESCU

Coli de tipar : 3,750. Bun de tipar : 10.07.1980.


Tiparul executat sub cd. 5067/980 la Întreprinderea poligrafică Bacău, str. Eliberării, nr. 63.
REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA



„Marea, oceanul planetar, reprezintă domeniul de viaţă cel mai vast, dar în acelaşi timp, biotopul cel mai puţin cunoscut al planetei noastre. ...

Există mai multe împrejurări în care omul a depăşit limitele obişnuite de vieţuire de la suprafaţa pămîntului. Multe dintre acestea sînt cele care se referă la membrii unor expediţii ştiinţifice şi alpinişti... altele, sînt cele în care anumite populaţii umane au ocupat definitiv platourile şi munţii înalţi, şi, în fine, o altă categorie în care omul s-a desprins, cu ajutorul aparatelor de zbor, de la sol şi a pătruns în tainele atmosferei".

Editura ştiinţifică şi enciclopedică Lei 2,60